ELECTRICIDAD - ELECTRÓNICA

Equipos e Instalaciones Electrotécnicas

Mantenimiento de Máquinas Eléctricas

Juan José Manzano Orrego

PARANINFO

Mantenimiento de Máquinas Eléctricas

© 1999 Editorial Paraninfo
ITP An International Thomson Publishing company
Magallanes, 25; 28015 Madrid ESPAÑA
Teléfono: 91 4463350 Fax: 91 4456218
(itesparaninfo.pedidos@mad.servicom.es)

© JUAN JOSÉ MANZANO ORREGO

Para más información:

ITE/LATIN AMERICA
Séneca, 53
Colonia Polanco
11560 México D.F. México
Tel: 525-281-2906 Fax: 525-281-2656
e-mail: clientes@mail.internet.com.mx

Puerto Rico/Caribbean
Hato Rey, PR
Tel: 787 758 7580 Fax: 787 758 7573
e-mail: 102154.1127@compuserve.com

América del Sur
Tel/Fax (562)5244688
e-mail: ldevore@ibm.net
Santiago, CHILE
Tel/Fax (541)777-0960
e-mail: sdeluque@ba.net
Buenos Aires, ARGENTINA

INTERNATIONAL THOMSON PUBLISHING
One Main Street, 6th Floor
Cambridge, MA 02142
Tel: 617 528 3104 Fax: 617 423 43 25

© Diseño de cubierta: Montytexto, S.L.

Reservados los derechos para todos los países de lengua española. De conformidad con lo dispuesto en el artículo 270 del Código Penal vigente, podrán ser castigados con penas de multa y privación de libertad quienes reprodujeren o plagiaren, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica fijada en cualquier tipo de soporte sin la preceptiva autorización. Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño de la cubierta, puede ser reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, sea éste electrónico, químico, mecánico, electro-óptico, grabación, fotocopia o cualquier otro, sin la previa autorización escrita por parte de la Editorial.

Impreso en España
Printed in Spain

ISBN: 84-283-2526-X

Depósito Legal: M-39.293-1998

Preimpresión: Montytexto, S.L. (113/57/64)

FERNANDEZ CIUDAD, Catalina Suárez, 19 - 28007 MADRID

Índice

Prólogo IX

Introducción al taller de máquinas eléctricas 1

1.1. Máquinas auxiliares en el taller 2
1.1.1 Taladradora 2
1.1.2. Electro esmeriladora 2
1.1.3. Bobinadora 2
1.2. Herramientas auxiliares 3
1.3. Horno de secado 3
1.4. Aparatos de medidas mecánicas 3
1.4.1. El calibre 3
1.4.2. Micrómetro o palmer 4
1.5. Aparatos de medidas eléctricas 4
1.6. Máquinas eléctricas y elementos auxiliares para ensayos 6
1.7. Simbología eléctricas más usada 7
1.8. Equipo de máquinas para bobinar 15
1.9. Materiales para bobinados 15
1.10. Instalaciones eléctricas 15
1.11. Normas de seguridad 15
1.12. Actividades de taller propuestas 15
Autoevaluación 16

Construcción de transformadores eléctricos de pequeña potencia 17

2.1. Constitución del transformador 18
2.1.1. Circuito magnético 18
2.1.2. Circuitos eléctricos 18
2.2. Principio de funcionamiento del transformador 18
2.2.1. Clasificación de los transformadores 18
2.2.1.1. Los transformadores de potencia 19
2.2.1.2. Transformadores de medidas 19
2.2.2. Autotransformadores 19
2.2.3. Símbolos para representar los transformadores 19
2.3. Cálculo analítico de transformadores de pequeña potencia 20
2.3.1. Sección del núcleo 20
2.3.2. Número de espiras 20
2.3.3. Sección de los conductores de los bobinados 20
2.4. Proceso de construcción de un transformador 21
2.4.1. Cálculos necesarios 21
2.4.2. Proceso de montaje 21
2.4.3. Ensayos previos al montaje de la carcasa 22
2.4.4. Barnizado 22
2.5. Ejemplos resueltos 22
2.6. Reparación de transformadores y autotransformadores 23
2.7. Cálculo de pequeños transformadores mediante ábacos 24
2.7.1. Sección del núcleo 24
2.7.2. Número de espiras 24
2.7.3. Diámetro del hilo 25
Actividades de taller propuestas 25
Autoevaluación 26

Ensayos de transformadores eléctricos 27

3.1. Funcionamiento en vacío 28
3.1.1. Pérdidas en el hierro 28
3.1.2. Relación de transformación en vacío 28
3.2. Ensayo de cortocircuito 28
3.2.1. Pérdidas en el cobre 28
3.2.2. Tensión de cortocircuito 29
3.2.3. Impedancia, resistencia e inductancia de corto circuito 29
3.2.4. Intensidad máxima de cortocircuito 29
3.2.5. Factor de potencia en cortocircuito 29
3.2.6. Caída de tensión activa y reactiva 29
3.3. Rendimiento 29
3.4. Medidas de temperatura 30
3.4.1. Calentamiento de un transformador 30
3.4.2. Refrigeración de los transformadores 31
3.5. Medidas de aislamiento y continuidad 31
3.6. Ensayo de la rigidez dieléctrica del aceite 32
3.7. Actividades de taller propuestas 32
3.7.1. Ensayos de vacío 32
3.7.1.1. Material recomendado para el ensayo de vacío 33
3.7.2. Ensayo de cortocircuito 33
3.7.2.1. Material recomendado para ensayo en cortocircuito 34
Autoevaluación 35

Máquinas de corriente continua y sus bobinados 37

4.1. Constitución de las máquinas eléctricas de corriente continua 38
4.2. Bobinado inductor 38
4.2.1. Excitación independiente 39
4.2.2. Excitación serie 39
4.2.3. Excitación shunt 39
4.2.4. Excitación compound 39
4.3. Bobinado de conmutación 39
4.4. Placa de bornas de una máquina de C.C 39
4.5. Bobinado inducido 40
4.5.1. Bobinados de una y dos capas por ranura . 40
4.5.2. Bobinados cerrados 40
4.5.3. Condiciones que han de cumplir los bobinados inducidos de corriente continua 41
4.5.3.1. Número de bobinas 41
4.5.3.2. Secciones inducidas 41
4.5.3.3. Número de delgas 41
4.5.3.4. Paso de ranuras 41
4.5.3.5. Ancho de sección 42
4.5.3.6. Clases de bobinados en corriente continua 42
4.6. Bobinados imbricados simples 42
4.6.1. Conexiones equipotenciales 42
4.6.1.1. Número de conexiones equipotenciales 42
4.6.1.2. Paso de bobina equipotencial 43
4.6.2. Cálculo de esquemas para los bobinados imbricados simples 43
4.6.2.1. Posibilidad de ejecución 43
4.6.2.2. Paso de ranuras 43
4.6.2.3. Número de delgas del colector ... 43
4.6.2.4. Paso de colector 43
4.6.2.5. Ancho de sección 43
4.6.2.6. Paso de conexión 43
4.6.2.7. Paso de escobillas 43
4.7. Ejemplos resueltos de bobinados imbricados simples 44
4.8. Bobinados imbricados múltiples 45
4.8.1. Bobinados imbricados dobles 45
4.8.1.1. Escobillas 45
4.8.1.2. Conexiones equipotenciales 45
4.9. Ejemplos resueltos de bobinados imbricados dobles 45
4.10. Bobinados ondulados serie 46
4.10.1. Número de ramas paralelas 47
4.10.2. Número de escobillas 47
4.10.3. Condiciones que han de cumplir los bobinados ondulados serie 47
4.10.4. Empleo de una sección muerta 47
4.11. Proceso de cálculo de los bobinados ondulados . 47
4.12. Ejemplos resueltos de bobinados ondulados serie 48
Actividades de taller propuestas 49
Autoevaluación 50

Mantenimiento y reparación de máquinas eléctricas de corriente continua 51

5.1. Interpretación de los programas de mantenimiento de las máquinas de C.C. 52
5.2. Útiles, aparatos y herramientas a utilizar en el mantenimiento preventivo de máquinas de C.C. . 52
5.3. Secuencia de operaciones que requiere el mantenimiento preventivo 52
5.3.1. Análisis del estado general de la máquina . 52
5.3.2. Revisión de anclajes y elementos móviles . 52
5.3.3. Comprobación de circuitos 53
5.3.3.1. Localización de derivaciones 53
5.3.3.2. Localización de cortocircuitos 53
5.3.3.3. Localización de interrupciones ... 54
5.4. Rebobinado de inducidos de máquinas eléctricas de C.C. 54
5.4.1. Toma de datos al extraer el arrollamiento deteriorado 54
5.4.1.1. Recomendaciones a tener en cuenta 55
5.4.2. Aislamiento del núcleo 55
5.4.3. Bobinado del inducido 56
5.4.4. Cierre de las ranuras 56
5.4.5. Conexionado de las bobinas a las delgas del colector 57
5.4.6. Zunchado del inducido 58
5.4.6.1. Zunchado con cuerda 58
5.4.6.2. Zunchado con alambre 58
5.4.7. Comprobación eléctrica del inducido 59
5.4.7.1. Prueba de cortocircuitos entre espiras y entre delgas 59
5.4.7.2. Prueba de aislamiento 59
5.4.7.3. Comprobación de la intensidad generada por cada bobina 59
5.4.8. Impregnación y secado del inducido 60
5.4.9. Torneado y rectificación de micas del colector 60
5.4.10. Equilibrado mecánico del inducido 60
5.5. Construcción de las bobinas polares 60
5.5.1. Preparación del molde adecuado 61
5.5.2. Ejecución de la bobina polar 61
5.5.3. Conexionado de las bobinas polares 62
5.5.4. Determinación de las polaridades 62
5.6. Informe del trabajo realizado 63
5.7. Normas de seguridad aplicables 63
Actividades de taller propuestas 63
Autoevaluación 64

Ensayos de máquinas eléctricas de corriente continua 65

6.1. Identificación del tipo de máquinas corriente continua por su placa de bornas 66
6.2. Funcionamiento de la dinamo de excitación independiente 66
6.2.1. Puesta en funcionamiento o arranque 67
6.2.2. Características de vacío 67
6.2.2.1. Ensayo de vacío de la dinamo de excitación independiente 67
6.2.3. Material recomendado para el ensayo de vacío 68
6.2.4. Características de carga 68
6.2.4.1. Ensayo de carga de la dinamo de excitación independiente 69
6.2.5. Material recomendado para el ensayo de carga 69
6.2.6. Estabilidad de una máquina con excitación independiente 70

6.3. Dinamos autoexcitadas 70
6.3.1. Principio de autoexcitación 70
6.3.2. Condiciones de cebado 70
6.3.3. Comprobación práctica 71
6.4. Funcionamiento de la dinamo de excitación serie 71
6.4.1. Puesta en marcha de la dinamo serie 71
6.4.2. Características de vacío 71
6.4.3. Características de carga 71
6.4.3.1. Ensayo de carga de la dinamo serie 71
6.4.4. Material recomendado para el ensayo en carga de la máquina serie 72
6.4.5. Estabilidad de una máquina serie 72
6.5. Dinamo de excitación shunt 72
6.5.1. Puesta en marcha de la dinamo shunt 72
6.5.2. Características de vacío 73
6.5.2.1. Ensayo de vacío 73
6.5.3. Materiales recomendados para los ensayos de vacío y carga 73
6.5.4. Características de carga 73
6.5.4.1. Ensayo de carga de la dinamo shunt 74
6.5.5. Estabilidad de una máquina shunt 74
6.6. Características de regulación para la dinamo de excitación shunt 74
6.6.1. Cálculos del reóstato de campo R1 75
6.6.1.1. Ensayo para obtener las características de regulación 75
6.7. Motor de corriente continua 76
6.7.1. Características de velocidad en los motores serie, shunt y compound 76
6.7.1.1. Variación del flujo inductor 76
6.7.1.2. Variación de la velocidad al cambiar el valor de tensión aplicada 76
6.7.1.3. Ensayos de regulación de velocidad en los motores de c.c. 76
6.7.2. Material recomendado para el ensayo de regulación de velocidad 77
6.7.3. Características de par motor en los motores shunt y serie 77
6.7.3.1. Motor shunt. Par motor 77
6.7.3.2. Motor serie. Par motor 77
6.7.3.3. Ensayo para trazar la curva de par motor 77
6.7.4. Material recomendado para el ensayo de par motor 78
6.8. Cambios de temperatura en las máquinas 78
6.8.1. Calentamiento de la máquina de c.c. 78
6.9. Informe de los ensayos realizados 79
6.10. Normas de seguridad aplicables 79
Actividades de taller propuestas 79
Autoevaluación 80

7 Máquinas de corriente alterna y sus bobinados 81

7.1. Constitución de una máquina de corriente alterna 82
7.1.1. Alternador 82
7.1.2. Motores 82
7.2. Clasificación de los bobinados de las máquinas de C.A. 82
7.2.1. En función del número de fases 83
7.2.2. Atendiendo a la amplitud de las bobinas . . 83
7.2.3. Según la distribución de las bobinas 83
7.2.4. Teniendo en cuenta el sentido de avance de la corriente 83
7.2.5. En función del número de grupos por fase 83
7.2.6. En función del número de haces activos por ranura 84
7.3. Cálculo de los bobinados concéntricos trifásicos . 84
7.3.1. Datos necesarios 84
7.3.2. Posibilidad de ejecución 84
7.3.3. Número de grupos del bobinado 84
7.3.4. Número de bobinas por grupo 84
7.3.5. Número de ranuras por polo y fase 85
7.3.6. Amplitud de grupos 85
7.3.7. Paso de principios 85
7.3.8. Tabla de principios 85
7.4. Velocidad de los motores eléctricos de C.A. 85
7.5. Ejemplos resueltos de bobinados concéntricos trifásicos 85
7.6. Bobinados de motores monofásicos con circuito de arranque 86
7.6.1. Bobinados monofásicos separados 87
7.6.1.1. Número de bobinas por grupo del devanado principal 87
7.6.1.2. Amplitud de grupos del devanado principal 87
7.6.1.3. Número de bobinas por grupo del devanado auxiliar 87
7.6.1.4. Amplitud de grupo del devanado auxiliar 87
7.6.1.5. Paso de ciclo 87
7.6.1.6. Paso de principios 87
7.6.1.7. Tabla de principios 87
7.6.2. Bobinados monofásicos superpuestos 87
7.6.2.1. Bobinas por grupo y amplitud del bobinado principal 87
7.6.2.2. Bobinas por grupo y amplitud del bobinado auxiliar 88
7.6.2.3. Tabla de principios 88
7.7. Ejemplos resueltos bobinados monofásicos 88
7.8. Bobinados excéntricos 89
7.8.1. Bobinados enteros y fraccionarios 89
7.8.2. Bobinados imbricados enteros de una capa 89
7.8.2.1. Cálculos para realizar el esquema de un bobinado imbricado de una capa 89
7.8.3. Bobinados imbricados enteros de dos capas 90
7.8.3.1. Cálculos para realizar el esquema de un bobinado imbricado de dos capas 90
7.9. Ejemplos resueltos de los bobinados excéntricos de una y dos capas 90
7.10. Bobinados ondulados de corriente alterna 91
7.10.1. Bobinados ondulados enteros y fraccionarios 91
7.10.2. Cálculos necesarios para hacer el esquema de un bobinado ondulado 92
7.11. Ejemplos resueltos de bobinados ondulados trifásicos 92
7.12. Placa de bornas de una máquina de C.A. 93
Actividades de taller propuestas 93
Autoevaluación 94

8 Mantenimiento y reparación de máquinas eléctricas de corriente alterna 95

8.1. Interpretación de los programas de mantenimiento de las máquinas de C.A. 96
8.2. Útiles, aparatos y herramientas a utilizar en el mantenimiento preventivo de máquinas de C.A. . 96
8.3. Secuencia de operaciones que requiere el mantenimiento preventivo 96
8.3.1. Análisis del estado general de la máquina . 96
8.3.2. Revisión de anclajes y elementos móviles . 96
8.3.3. Comprobación de circuitos 97
8.3.3.1. Localización de derivaciones 97
8.3.3.2. Localización de cortocircuitos ... 97
8.3.3.3. Localización de interrupciones ... 98
8.3.3.4. Conexiones erróneas 98
8.4. Rebobinado de las máquinas de C.A. 99
8.4.1. Toma de datos al extraer el arrollamiento . 99
8.4.1.1. Recomendaciones a tener en cuenta 100
8.4.2. Aislamiento del núcleo 100
8.4.3. Ejecución de las bobinas 101
8.4.4. Colocación de las bobinas en las ranuras .. 101
8.4.5. Cierre de las ranuras 102
8.4.6. Conexiones de los devanados 102
8.4.7. Comprobaciones eléctricas 103
8.4.8. Aislamiento y amarre de bobinados 103
8.4.9. Impregnación y secado 103
8.5. Informe del trabajo realizado 103
8.6. Rebobinado para modificar características de tensión, frecuencia y velocidad 103
8.6.1. Cambios de tensión 104
8.6.2. Cambio de frecuencia y velocidad a tensión constante 104
8.7. Normas de seguridad aplicables 105
Actividades de taller propuestas 105
Autoevaluación 106

9 Ensayos de máquinas eléctricas de corriente alterna 107

9.1. Placa de bornas en las máquinas de corriente alterna 108
9.2. Alternador y partes principales 108
9.2.1. Estator 108
9.2.2. Rotor 108
9.2.3. Excitatriz 108
9.3. Principio de funcionamiento del alternador 109
9.3.1. Velocidad síncrona y frecuencia de un alternador 109
9.3.2. Potencia generada por un alternador 109
9.4. Alternadores de excitación independiente y autoexcitados 110
9.5. Ensayo de vacío a un alternador 110
9.5.1. Puesta en marcha del alternador 110
9.5.2. Realización del ensayo en vacío 111
9.5.3. Material recomendado para el ensayo de vacío 111
9.6. Ensayo de cortocircuito del generador síncrono . 111
9.6.1. Impedancia síncrona 112
9.6.2. Material recomendado para el ensayo de cortocircuito 112
9.7. El generador síncrono en carga 113
9.7.1. Ensayo a tensión constante 113
9.7.2. Ensayo a excitación constante 113
9.7.3. Ensayo con intensidad de carga constante . 114
9.7.4. Material recomendado para ensayos de carga 114
9.8. Motores síncronos 115
9.8.1. Arranque del motor síncrono 115
9.8.2. Curvas en V de motor síncrono 116
9.8.3. Ensayo del motor síncrono 116
9.8.4. Material recomendado para el ensayo 117
9.9. El motor asíncrono 117
9.9.1. Ensayo de vacío al motor asíncrono 117
9.9.2. Ensayo en carga del motor asíncrono 118
9.9.3. Material recomendado para realizar los ensayos 119
9.10. Cambios de temperatura en las máquinas 119
9.10.1. Calentamiento de la máquina 119
9.11. Informe de los ensayos realizados 120
9.12. Normas de seguridad aplicables 120
Actividades de taller propuestas 120
Autoevaluación 121

Bibliografía 123

Prólogo

Esta obra pretende ser una herramienta de ayuda a todas aquellas personas que tratan de adentrarse en el mundo del mantenimiento de las máquinas eléctricas. Muy especialmente a los alumnos de enseñanzas profesionales, dándoles una base teórica elemental y una aplicación práctica inmediata; tratando, en todo momento, de ser eminentemente práctico.

La obra se divide en tres bloques, en los que se abordan; los transformadores, las máquinas de corriente continua y las máquinas de corriente alterna.

Los bloques mencionados se desarrollan en nueve temas, procurando en todo momento un desarrollo pedagógico, adecuados al nivel al que va dirigido. Así, el tema uno da una visión del taller de máquinas en un centro de enseñanzas, a la vez que hace una introducción de algunos temas que les serán necesarios al alumno, para el posterior desarrollo del programa.

Los temas dos y tres, desarrollan los conocimientos necesarios para el mantenimiento y rebobinado de los transformadores.

En los temas cuatro, cinco y seis se estudian y desarrollan los conocimientos necesarios para la confección de esquemas, rebobinado y ensayos a las máquinas de corriente continua. Los temas siete, ocho y nueve desarrollan los mismos apartados para las máquinas de corriente alterna.

El autor desea que estos temas ayuden a una formación adecuada de los profesionales que han de enfrentarse al **mantenimiento de máquinas eléctricas**; a la vez que les pide disculpas si en algún momento no ha alcanzado este objetivo. En cualquier caso, pide a sus lectores le hagan llegar las sugerencias, de mejoras a la obra, que estimen oportunas.

Desde aquí quiero expresar mí agradecimiento a las personas o entidades que, de alguna manera, han colaborado en el desarrollo de la obra; así como a mis familiares y especialmente a mi esposa, la cual me ha soportado en los momentos buenos y menos buenos de la redacción.

EL AUTOR

Introducción al taller de máquinas eléctricas

Introducción

El taller de máquinas, es un lugar donde a lo largo del curso, hemos de pasar bastantes horas. Por ello es lógico que hagamos un recorrido por el mismo, para conocer todas las máquinas, herramientas, materiales, etc.

También es conveniente que conozcamos las canalizaciones eléctricas existentes, así como sus elementos de corte y protección.

Contenido

- *Máquinas auxiliares en el taller.*
- *Herramientas auxiliares*
- *Horno de secado*
- *Aparatos de medidas mecánicas*
- *Aparatos de medidas eléctricas*
- *Máquinas eléctricas y elementos auxiliares para ensayo*
- *Simbología eléctrica más usada*
- *Equipo de máquinas para bobinar*
- *Materiales para bobinado*
- *Instalaciones eléctricas*
- *Normas de seguridad*
- *Actividades de taller propuestas*
- *Autoevaluación*

Objetivos

- *Conocer la distribución del taller.*
- *Estudiar los distintos tipos de máquinas, herramientas y aparatos auxiliares del taller.*
- *Estudiar la simbología normalizada a utilizar.*
- *Conocer las normas básicas de seguridad e higiene a tener en cuenta.*

1.1. Máquinas auxiliares en el taller

Además del material y herramientas específicas de este taller, existen otras que son necesarias para ayudarnos a realizar determinadas tareas, así vamos a enumerar algunas de ellas.

1.1.1 Taladradora

Tiene como función, el taladrado de distintos tipos de materiales, que nos puedan ser necesarios en el trabajo habitual de un taller de máquinas eléctricas.

Figura 1.1. Portabrocas de una taladradora.

Existen muchos modelos de taladradoras fijas y portátiles, entre ellos, por su aplicación más frecuente en el taller, se encuentran las de columna. Están constituidas por una sólida base para afirmar en el lugar de emplazamiento, columna dispuesta verticalmente sobre la base y mesa que sirve para colocar la pieza a mecanizar, que puede ser móvil tanto vertical como horizontalmente a lo largo de la columna.

El movimiento de rotación del eje, lo imprime un motor eléctrico situado en el cabezal, que transmite su movimiento a través de un juego de poleas y de una correa trapecial al eje de portabrocas. Su velocidad puede aumentarse o reducirse combinando el tamaño de las poleas, también puede aplicarse, cualquier otro sistema de regulación de velocidad del motor.

El portabrocas, figura 1.1, es un mandril de apriete concéntrico, que por medio de tres o cuatro cuñas que se acercan o separan de su centro, permiten la sujeción de la broca. El apriete puede hacerse accionando con la mano la tuerca moleteada o por medio de una llave. Los portabrocas están provistos de un mango o espiga cónica que permite su adaptación al taladro cónico del eje de la máquina, fijación que también es usada para brocas de tamaños superiores a 12 mm, de diámetro.

Figura 1.2. Taladradoras de sobremesa y de columna.

En la figura 1.2 se representan los dos tipos de taladradoras más usadas, de sobremesa "a" y de columna "b".

1.1.2. Electro esmeriladora

Máquina compuesta por dos ruedas de material abrasivo, acopladas al eje de un motor eléctrico, pudiendo ser éste monofásico o trifásico.

A estas máquinas, también puede acoplársele un cepillo de alambre en el lugar correspondientes a una de las muelas abrasivas. En conjunto, es una máquina auxiliar de gran utilidad, para la reparación de pequeños desperfectos en herramientas, máquinas, piezas, etc.

Su aspecto se refleja en la figura 1.3.

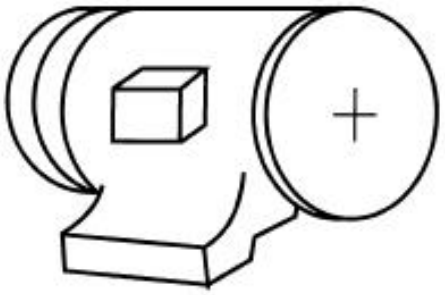


Figura 1.3. Electroesmeriladora.

1.1.3. Bobinadora

Es una máquina que tiene por misión facilitar el trabajo al bobinador al hacer las bobinas de los devanados eléctricos. Éstas pueden ser manuales o automáticas.

La manual consta esencialmente de un eje donde se fijan las plantillas, una polea a la que se le imprime el movimiento con la mano y un contador de vueltas, como puede observarse en la figura 1.4, aunque existen muchos modelos con aspectos muy diferentes.

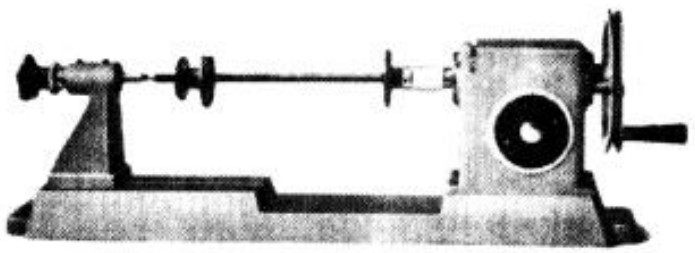


Figura 1.4. Bobinadora manual.

Las bobinadoras automáticas figura 1.5, en ellas el movimiento es trasmitido por un motor eléctrico, de corriente continua generalmente, a la caja de engranajes situada en el cabezal de la máquina.

Desde la caja de engranajes se transmiten dos movimientos; uno de rotación del eje principal y otro de traslación a la guía del hilo, siendo ésta diferente para cada diámetro de hilo utilizado.

El arranque y control de velocidad se efectúa por pedal, con posibilidad de invertir el sentido de giro del eje principal, por la acción de un conmutador manual.

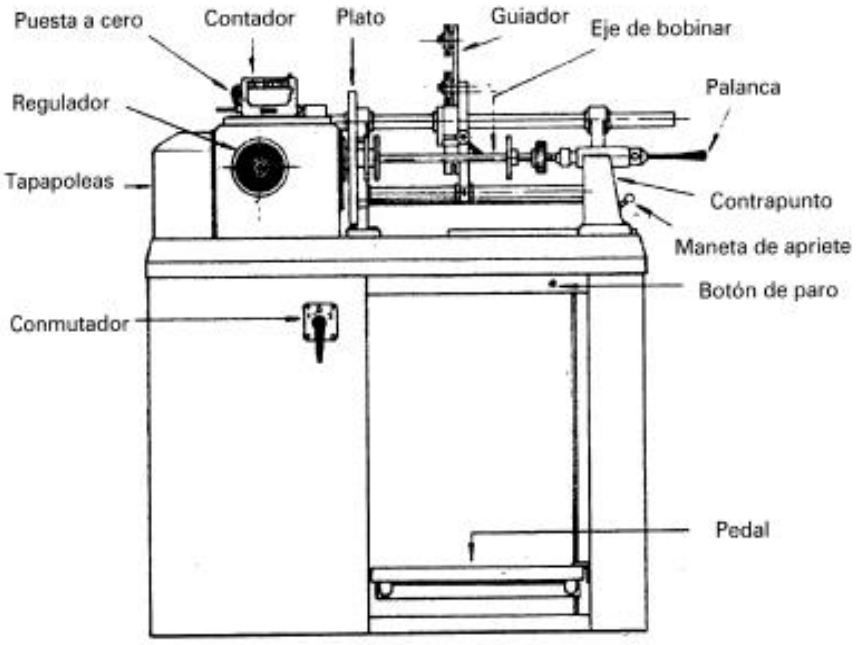


Figura 1.5. Aspecto de una bobinadora automática.

En cualquier caso, como existen varios tipos de bobinadoras automáticas en el mercado, el mejor procedimiento será consultar las instrucciones del modelo que encontremos en nuestro taller.

1.2. Herramientas auxiliares

El taller de máquinas cuenta con un cuadro de herramientas auxiliares para operaciones mecánicas de montaje y desmontaje, compuesto por; extractores de rodamientos, juegos de llaves de diferentes tipos, juego de brocas, limas, llaves ajustables, etc.

También cuenta este taller con un equipo de herramientas de electricista para cada alumno, en el que se contará al menos con; alicate universal, alicate de corte, alicate de puntas redondas, cuchillo, destornilladores, martillo y soldador eléctrico.

1.3. Horno de secado

La estufa u horno de secado, está formado por una caja metálica rodeada exteriormente por resistencias eléctricas de gran potencia, capaz de elevar la temperatura, a los niveles necesarios para secar el barniz con que se impregnan los bobinados, en un tiempo breve. Toda la estructura está envuelta por chapa, rellenándose el espacio entre caja interior y exterior, de un aislante térmico.

El acceso al horno es por una puerta que cierra herméticamente. La regulación y control de temperatura interior puede hacerse de forma automática. El tamaño del horno estará en función de las máquinas que se vayan a introducir en él, siendo el de un taller de prácticas de 60.70.60 cm, aproximadamente.

1.4. Aparatos de medidas mecánicas

Por su importancia en el taller de máquinas, es necesario mencionar dos:

- El calibre o pie de rey.
- El micrómetro.

1.4.1. El calibre

Nos sirve para hacer medidas de interior, exterior y profundidad, con precisión de décimas de milímetro. Esto lo hace imprescindible para tomar medidas de tornillos, agujeros, grosores, etc.

Constan básicamente de una parte fija y otra móvil, ambas de acero y graduadas. La regla principal suele estar graduada en milímetros y pulgadas.

En la parte móvil, como se observa en la figura 1.6, está el nonio que nos permitirá apreciar décimas de milímetros o de pulgadas. Al tomar medidas con este instrumento puede presentarse dos casos:

- Que la medida sea exacta.
- Que la medida tenga algunas décimas más.

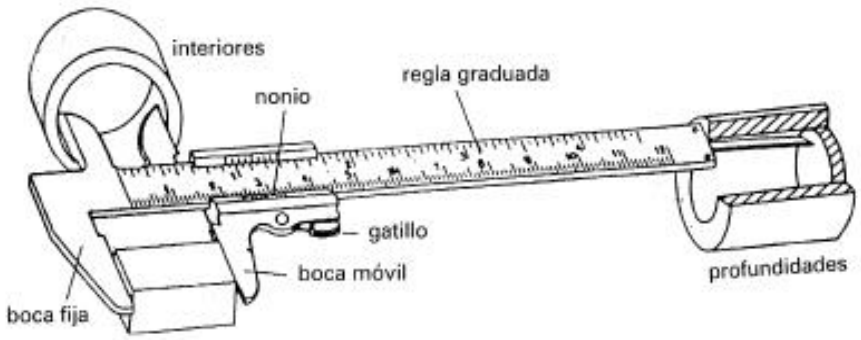


Figura 1.6. Calibre o pie de Rey.

Cuando la medida es exacta, coincide el cero del nonio, con una división de la regleta principal, que nos dice los milímetros enteros, si también coincide la última división del nonio, la medida es exacta, figura 1.7.

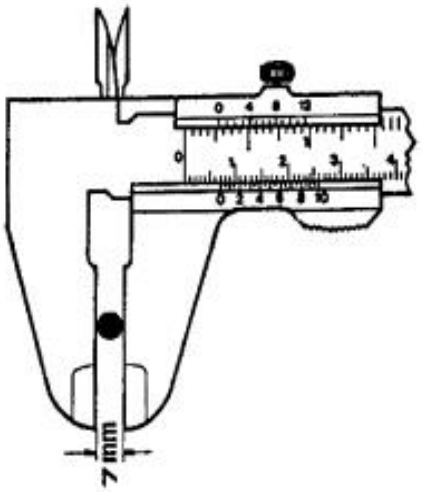


Figura 1.7. Medida exacta de 7 mm.

Si la última división del nonio, no coincide, es que la medida tiene décimas, como puede observarse en la figura 1.8, nos la indica la división cero del nonio, quedando a la izquierda el número de milímetros enteros (19) y un poco más, para saber cuántas décimas son, nos deslizaremos por el nonio hacia la derecha y observamos que la división siete de éste coincide perfectamente con una división de la regla principal, lo que indica que tiene 19 mm y 7 décimas.

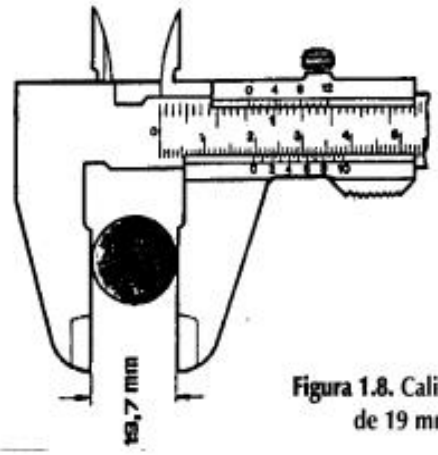
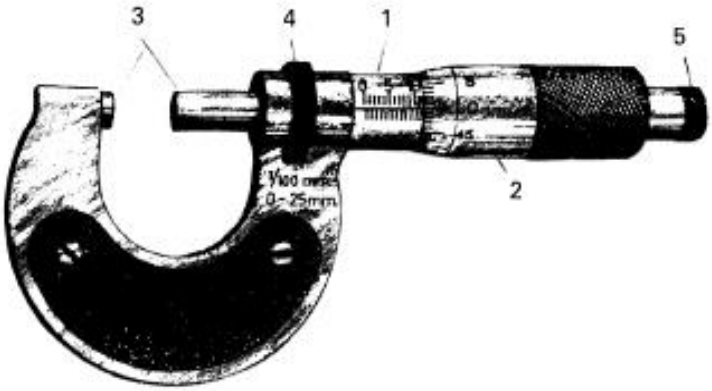


Figura 1.8. Calibre con una medida de 19 mm y 7 décimas

1.4.2. Micrómetro o palmer

Cuando necesitamos hacer las medidas con más precisión, recurriremos al micrómetro. Con este instrumento podemos apreciar centésimas de milímetro, lo que resulta de gran utilidad para medir espesores de aislantes y diámetros de hilos de bobinar.

El micrómetro consta de:



1. Cuerpo fijo graduado en milímetros.
2. Cuerpo móvil con tambor graduado en centésimas, cada vuelta avanza 0,5 mm.
3. Boca fija y móvil.
4. Fijador de medidas.
5. Embrague, sobre el que se debe actuar para ajustar la medida.

Figura 1.9. Micrómetro o palmer. Sus partes.

La medida en el micrómetro se toma de forma similar a como se ha explicado para el calibre. Los milímetros enteros, los indica el cuerpo fijo en su graduación en mm, cuando coincide el cero del cuerpo móvil con la línea central, como indica la figura 1.10.

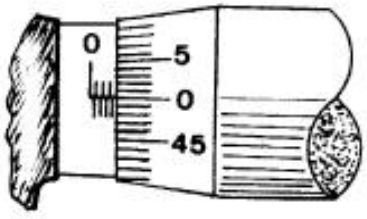


Figura 1.10. Micrómetro con medida exacta de 4 mm.

Las centésimas, se observan en el tambor graduado, de forma que la división de éste que coincida con la línea central de la graduación fija, nos indica las centésimas que es necesario sumar a los milímetros medidos, si los hay. En la figura 1.11, se observa una medida de 5 centésimas.

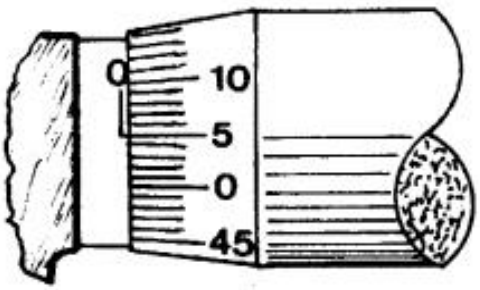


Figura 1.11. Micrómetro con medida de 5 centésimas.

1.5. Aparatos de medidas eléctricas

Los aparatos de medidas eléctricas son imprescindibles en este tipo de taller, ya que con ellos comprobamos el estado de las máquinas, como iremos viendo a lo largo del curso.

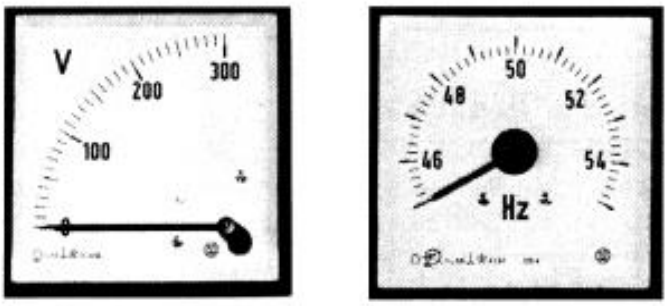


Figura 1.12. Cuadrante de dos aparatos con diferentes datos.

Para el uso correcto de los aparatos, es necesario atender a las indicaciones impresas en sus cuadrantes, que puede ser de dos tipos:

1. De información general:

Marca o fabricante.
Número de serie.
Año de fabricación.
Unidad de medida.

2. De uso del aparato:

Sistema motor.
Tipo de corriente.
Posición de trabajo.
Tensión de prueba de aislamiento.
Precisión o clase.
Observaciones especiales.

UNIDAD DE MEDIDA	
Descripción	**Símbolo**
VOLTÍMETRO	(V)
AMPERÍMETRO	(A)
VATÍMETRO	(W)
FRECUENCÍMETRO	(H_z)
FASÍMETRO	(φ)
ÓHMETRO	(Ω)
MEGÓHMETRO	(M_Ω)

SISTEMA MOTOR	
Descripción	**Símbolo**
MAGNETOELÉCTRICO DE BOBINA MÓVIL	
MAGNETOELÉCTRICO DE IMÁN MÓVIL	
MAGNETOELÉCTRICO CON RECTIFICADOR	
MAGNETOELÉCTRICO CON TERMOELEMENTO	
MAGNETOELÉCTRICO DIFERENCIAL	
ELECTROMAGNÉTICO	
ELECTROMAGNÉTICO DIFERENCIAL	
ELECTROMAGNÉTICO DE VIBRACIÓN	
ELECTROMAGNÉTICO SIN HIERRO	
FERRODINÁMICO	
FERRODINÁMICO DIFERENCIAL	
INDUCCIÓN	
INDUCCIÓN DIFERENCIAL	

SISTEMA MOTOR (cont.)	
Descripción	**Símbolo**
ELECTROSTÁTICOS	
ELECTROTÉRMICOS DE HILO CALIENTE	
ELECTROTÉRMICOS BIMETÁLICOS	

TIPO DE CORRIENTE	
Descripción	**Símbolo**
CORRIENTE CONTINUA (C.C.)	
CORRIENTE ALTERNA (C.A.)	
C. A. TRIFÁSICA UNA BOBINA AMPERIMÉTRICA	
C. A. TRIFÁSICA DOS BOBINAS AMP.	
C. A. TRIFÁSICA TRES BOBINAS AMP.	

POSICIÓN DE TRABAJO	
Descripción	**Símbolo**
POSICIÓN HORIZONTAL	
POSICIÓN VERTICAL	
INCLINACIÓN INDICADA EN GRADOS	

TENSIÓN DE PRUEBA DE AISLAMIENTO	
Descripción	**Símbolo**
PRUEBA DE AISLAMIENTO A 2 KV. (2.OOOV)	
PRUEBA DE AISLAMIENTO A 500 V	
NO SOMETIDO A PRUEBA	

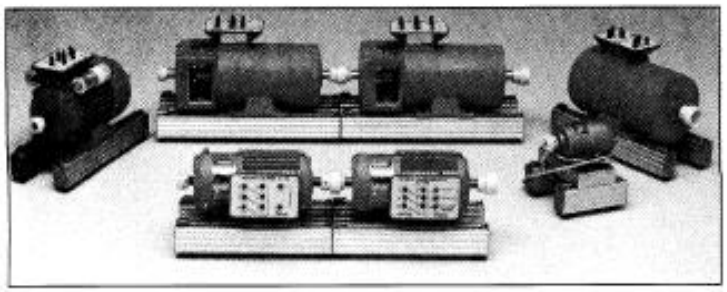


Figura 1.15. Máquinas para ensayos

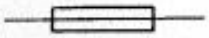
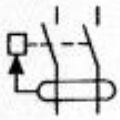
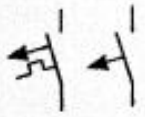
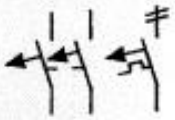
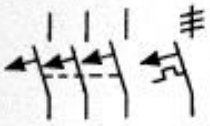
Además de las máquinas mencionadas hemos de contar con una dinamo freno, de características adecuadas para ser acoplada con el resto.

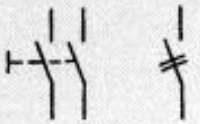
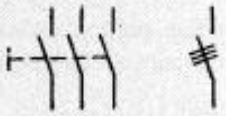
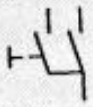
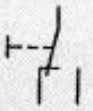
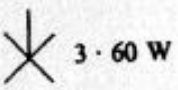
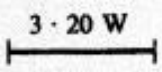
Cuando hacemos ensayos, tenemos que montar los circuitos de arranque de las máquinas, para lo que necesitamos disponer de una serie de elementos auxiliares como:

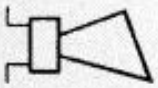
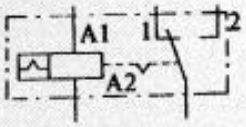
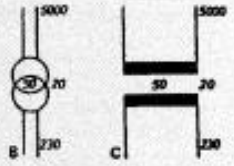
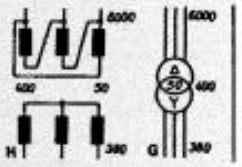
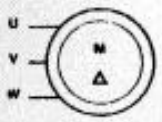
- Reostatos de cursor, de varios valores de resistencia e intensidad, forma que cubran las necesidades de arranque de las máquinas con que contamos.
- Cargas resistivas, capacitivas e inductivas, monofásicas y trifásicas, de valores regulables y acoplables en estrella, triángulo o cualquier otra conexión, para valores superiores a 1.000 W.
- Relés, contactores, pulsadores, interruptores, etc.

1.7. Simbología eléctricas más usada

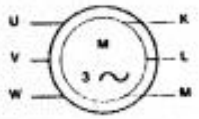
Para hacer los ensayos de máquinas, hemos de interpretar unas veces y dibujar otras, esquemas de maniobras, en los que es necesario representar los elementos que intervienen, de una forma normalizada y legible por todos. La representación de cada elemento se hace por símbolos, los más utilizados, las letras que designan cada elemento, la forma de numerar cada conexión y normas a tener en cuenta, se describen a continuación.

SIMBOLOGÍA ELÉCTRICA		
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLOS	
	R. MULTIFILAR	R. UNIFILAR
CUADRO DE DISTRIBUCIÓN		
CORTACIRCUITO FUSIBLE		
INTERRUPTOR DIFERENCIAL BIPOLAR		
INTERRUPTOR MAGNETOTÉRMICO UNIPOLAR (PIA)		
INTERRUPTOR MAGNETOTÉRMICO BIPOLAR (PIA)		
INTERRUPTOR MAGNETOTÉRMICO TRIPOLAR (PIA)		
INTERRUPTOR UNIPOLAR		

SIMBOLOGÍA ELÉCTRICA (Cont.)		
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLOS	
	R. MULTIFILAR	R. UNIFILAR
INTERRUPTOR BIPOLAR		
INTERRUPTOR TRIPOLAR		
INTERRUPTOR DOBLE		
CONMUTADOR		
CONMUTADOR DE CRUZAMIENTO		
TOMA DE CORRIENTE MONOFÁSICA		
TOMA DE CORRIENTE MONOFÁSICA CON TIERRA		
TOMA DE CORRIENTE TRIFÁSICA CON TIERRA		
LÁMPARA INCANDESCENTE		
LÁMPARA FLUORESCENTE		
TIMBRE		

SIMBOLOGÍA ELÉCTRICA (Cont.)		
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLOS	
	R. MULTIFILAR	R. UNIFILAR
ZUMBADOR		
SIRENA		
BOCINA		
TELERRUPTOR		
TRANSFORMADOR MONOFÁSICO		
AUTOTRANSFORMADOR MONOFÁSICO		
TRANSFORMADOR TRIFÁSICO		
GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA		
MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA		
GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA		
MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO CON ROTOR EN CORTO (JAULA DE ARDILLA)		

SIMBOLOGÍA ELÉCTRICA (Cont.)

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLOS	
	R. MULTIFILAR	R. UNIFILAR
MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO CON ROTOR BOBINADO		

Las nuevas tendencias en simbología la marcan los fabricantes de materiales eléctricos, evolucionando continuamente fundamentalmente en lo que respecta a materiales de automatismos. Así a continuación observaremos algunos símbolos en su representación antigua y nueva. Es necesario conocer las dos, puesto que en la práctica están coexistiendo.

NOMENCLATURA DE LOS CONDUCTORES

DESIGNACIÓN	COLOR	ANTIGUA	NUEVA
CORRIENTE ALTERNA. FASE 1	NEGRO	R	L1
CORRIENTE ALTERNA. FASE 2	MARRÓN	S	L2
CORRIENTE ALTERNA. FASE 3	GRIS	T	L3
CORRIENTE ALTERNA. NEUTRO	AZUL	Mp	N
CONDUCTOR DE PROTECCIÓN	AMARILLO/VERDE	SL	PE
CORRIENTE CONTINUA. POSITIVO	ROJO	P	L+
CORRIENTE CONTINUA. NEGATIVO	NEGRO	N	L-
CORRIENTE CONTINUA. NEUTRO	AZUL	Mp	M
CONDUCTOR NEUTRO A TIERRA	AMARILLO/VERDE	Mp/SL	PEN
MASA EN GENERAL	–	–	⊥ MM
TIERRA EN GENERAL	–	–	⏚ E

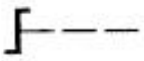
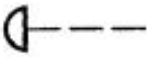
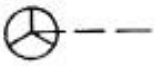
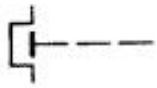
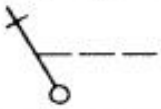
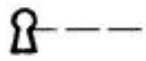
Además de poner el símbolo de un componente en el circuito, es necesario acompañarlo de una letra que nos permita distinguir mediante un subíndice, los diferentes elementos del mismo tipo que hay en un mismo circuito.

NOMENCLATURA DE LOS COMPONENTES

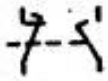
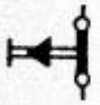
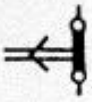
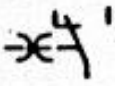
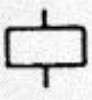
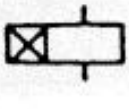
COMPONENTES	ANTIGUA	NUEVA
INTERRUPTORES DE POTENCIA, PROTECCIÓN Y AUTOMÁTICOS.	a	Q
RESISTENCIAS INCORPORADAS, DE AJUSTE, NTC Y PTC.	r, f	R
INTERRUPTORES, SELECTORES, PULSADORES, CONMUTADORES.	b	S
TRANSFORMADORES DE POTENCIA, DE INTENSIDAD Y DE TENSIÓN.	m	T
RECTIFICADORES, CONVERTIDORES, MODULADORES.	n	U
TUBOS DE VACÍO, DE GAS, DIODOS, TRANSISTORES, TIRISTORES.	p	V
HILOS DE CONEXIÓN. CABLES, BARRAS, ANTENAS.	-	W
REGLETAS DE BORNES, TIRAS DE TERMINALES, CLAVIJAS DE PRUEBA.	b	X
ELECTROVÁLVULAS, EMBRAGUES ELÉCTRICOS, FRENOS ELÉCTRICOS.	s	Y
SIMULADOR DE CABLE, FILTRO DE CRISTAL.	-	Z
COMBINACIONES DE APARATOS, AMPLIFICADORES.	u	A
CONVERTIDORES DE MEDIDAS, SONDAS, MICRÓFONOS, ELEMENTOS FOTOELÉCTRICOS, ALTAVOCES.	f	B
CONDENSADORES	k	C
ELEMENTOS MONOESTABLES, APARATOS DE CINTA MAGNÉTICA.	u	D
ELEMENTOS O EQUIPOS NO COMPRENDIDOS EN OTRAS DESIGNACIONES.	u	E
FUSIBLES, RELÉS TÉRMICOS, RELÉS MAGNÉTICOS, RELÉS MAGNETOTÉRMICOS.	e	F

NOMENCLATURA DE LOS COMPONENTES (Cont.)		
COMPONENTES	**ANTIGUA**	**NUEVA**
SUMINISTRADORES DE CORRIENTE, BATERÍAS, GENERADORES.	m	G
APARATOS DE SEÑALIZACIÓN, ÓPTICOS Y ACÚSTICOS.	h	H
CONTACTORES DE POTENCIA, CONTACTORES AUXILIARES, RELÉS AUXILIARES, TEMPORIZADORES.	c,d	K
BOBINAS, REACTANCIAS.	k	L
MOTORES DE JAULA Y ANILLOS ROZANTES.	m	M
APARATOS INDICADORES, REGISTRADORES, CONTADORES.	g	P

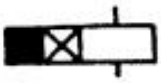
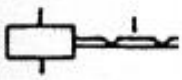
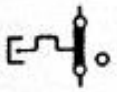
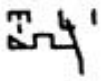
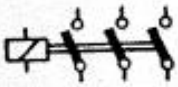
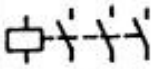
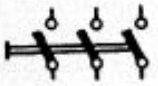
Los símbolos generales de accionamiento mecánico más utilizados, que posteriormente se asocian a contactos abiertos, cerrados, conmutados, ect., son los relacionados a continuación.

MANDO MECÁNICO	
DENOMINACIÓN	**SÍMBOLO**
ROTATIVO CON ENGANCHE	
PULSADOR DE SETA	
ACCIONAMIENTO POR VOLANTE	
ACCIONAMIENTO POR PEDAL	
ACCIONAMIENTO RESTRINGIDO	
ACCIONAMIENTO POR PALANCA	
ACCIONAMIENTO POR PALANCA CON MANETA	
ACCIONAMIENTO POR LLAVE	
ACCIONAMIENTO POR MANIVELA	

SIMBOLOGÍA DE AUTOMATISMOS		
DENOMINACIÓN	**ANTIGUA**	**NUEVA**
CONTACTO ABIERTO (NA)		

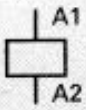
SIMBOLOGÍA DE AUTOMATISMOS		
DENOMINACIÓN	**ANTIGUA**	**NUEVA**
CONTACTO CERRADO (NC)		
CONTACTO CONMUTADO		
CONTACTO ABIERTO CON SOLAPE		
CONTACTO CERRADO CON SOLAPE		
CONTACTO DE APERTURA Y CIERRE CON SOLAPE		
PULSADOR CERRADO EN REPOSO		
PULSADOR ABIERTO EN REPOSO		
INTERRUPTOR		
CONTACTO DE APERTURA TEMPORIZADO CON RETARDO A LA APERTURA		
CONTACTO DE APERTURA TEMPORIZADO CON RETARDO AL CIERRE		
CONTACTO DE CIERRE TEMPORIZADO CON RETARDO AL CIERRE		
CONTACTO DE CIERRE CON RETARDO A LA APERTURA		
CONTACTO CONMUTADO CON RETARDO A LA APERTURA Y AL CIERRE		
BOBINA EN GENERAL		
ACCIONAMIENTO ELECTROMECÁNICO CON UN DEVANADO		
BOBINA CON RETRASO A LA CONEXIÓN (TEMPORIZADOR)		

SIMBOLOGÍA DE AUTOMATISMOS (Cont.)

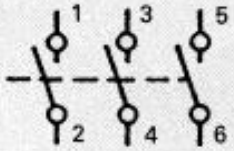
DENOMINACIÓN	ANTIGUA	NUEVA
BOBINA CON RETRASO A LA DESCONEXIÓN		
BOBINA CON RETRASO A LA CONEXIÓN Y A LA DESCONEXIÓN		
ACCIONAMIENTO ELECTROMECÁNICO CON DOS POSICIONES DE CONEXIÓN		
ACCIONAMIENTO POR ELEMENTOS ELECTROTÉRMICO		
CONTACTOS CONMUTADOS ACCIONADOS POR ELEMENTO ELECTROTÉRMICOS		
INTERRUPTOR DE POSICIÓN O FINAL DE CARRERA		
LÁMPARA DE CONTROL O SEÑAL		
CONTACTOR TRIPOLAR		
INTERRUPTOR TRIPOLAR DE ACCIONAMIENTO MANUAL		

MARCADO DE BORNES EN LOS CIRCUITOS DE AUTOMATISMO INDUSTRIAL

BOBINA.- Los dos bornes de la bobina de un electroimán (ejemplo; contactor), deberá ser marcada con la letras A1 y A2.



CONTACTOS PRINCIPALES.- Los bornes de los contactos principales serán marcados con números de una sola cifra. Los bornes de entrada, se marcan con una cifra impar, los bornes de salida se marcan con cifra par, inmediata superior.

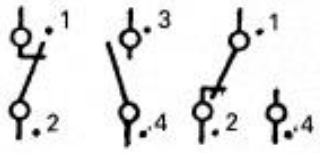


CONTACTOS AUXILIARES.- Los bornes de los contactos auxiliares serán marcados por números de dos cifras.

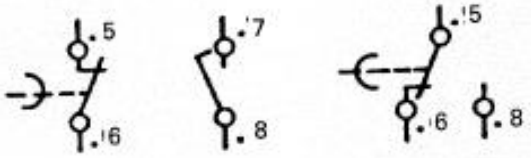
- La cifra de las unidades es la que indica la función.
  La cifra de las decenas indica el orden del contacto.

MARCADO DE BORNES EN LOS CIRCUITOS DE AUTOMATISMO INDUSTRIAL (Cont.)

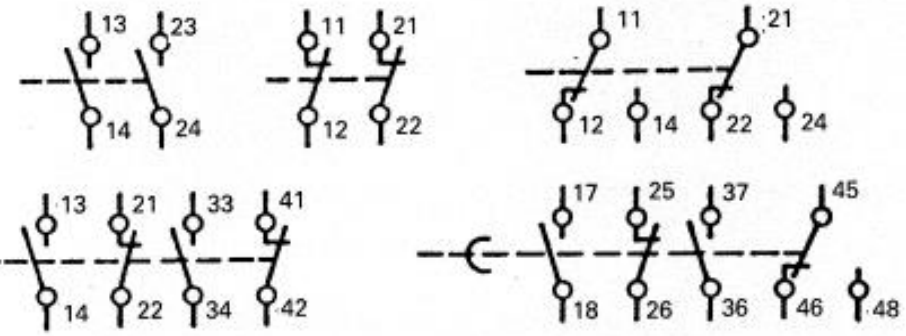
a) Función (unidades).- Los contactos cerrados serán marcados por la cifras 1 y 2. Los contactos abiertos, con las cifras 3 y 4. Los bornes de los contactos conmutados serán marcados con las cifras 1, 2 y 4.



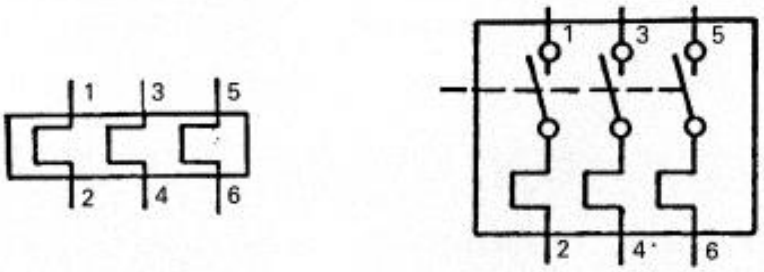
Los contactos auxiliares con funciones especiales, como por ejemplo; contactos con solape, contactos temporizados, etc., serán marcados con las cifras 5 y 6 contactos cerrados y con 7 y 8 los contactos abiertos. Los bornes de los contactos conmutados se marcarán con las cifras 5, 6 y 8.



b) Cifra de orden (decenas).- Los bornes pertenecientes a un mismo contacto serán marcados por la misma cifra de orden. Así, todos los contactos que tengan la misma función deben recibir un número de orden distinto.



ELEMENTOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGAS.- Los bornes de los circuitos principales de un aparato de protección contra sobrecargas, serán marcados como los bornes de los contactos principales de los contactores.



Los bornes de los contactos auxiliares de estos aparatos, serán marcados como los contactos auxiliares de funciones especiales, poniéndoles un 9, como cifra de orden.

DESIGNACIÓN DE LOS CONTACTOS AUXILIARES.- Con ello se facilita el trabajo de interpretación de circuitos y la sustitución de elementos averiados, ya que cada conductor estará marcado con un número, el mismo que tendrá el punto de conexión donde irá conectado.

1.8. Equipo de máquinas para bobinar

Está compuesto por máquinas convencionales, de tamaño y estructura adecuada al uso que se va ha hacer de ellas, siendo para una potencia de 1 CV, aproximadamente, en los motores y generadores.

Para el bobinado de transformadores, se emplearán chapas de tamaño comercial, pudiéndose adaptar a cualquier potencia que deseemos, dentro de los márgenes permitidos por el tamaño de las chapas.

El número de equipos de máquinas que ha tener en el taller, dependerá del número de alumnos que se prevean atender, debiéndose disponer al menos, de un equipo por cada dos alumnos.

1.9. Materiales para bobinados

Los materiales más comunes, en un taller de reparación de máquinas, son:

- **Hilo para devanados**.- Constituido por cobre electrolítico o aluminio esmaltado, de diámetros comprendidos entre 0,2 y 2 mm. Para diámetros mayores se emplean varillas, aunque lo habitual es emplear diámetros menores asociados en paralelo.
- **Láminas de papel flexible**.- Se emplean para el aislamiento entre circuitos, sometidos a diferente potencial. Las características varían en función de la temperatura que deban soportar y de la flexibilidad del papel que se necesite.
- **Tubos aislantes.**- Empleados para aislar las conexiones. Sus diámetros oscilan entre 0,5 y 12 mm. La constitución de los mismos varía en función de la temperatura que deben soportar.
- **Barnices.** Empleados para dar rigidez y estanqueidad a los devanados. Pueden ser, secados al aire o al horno.

Todos los aislantes se eligen en función de la temperatura y de la diferencia de potencial que hayan de aislar.

Para el aislamiento de las ranuras de las máquinas rotativas y su cierre, existe gran variedad de tipos y materiales adecuados a cada necesidad concreta.

De todas maneras será suficiente con que se conozcan las características de los materiales que utilicemos en los trabajos a desarrollar en nuestras prácticas, para ello se consultarán los catálogos comerciales correspondientes.

1.10. Instalaciones eléctricas

Las instalaciones eléctricas del taller de máquinas se pueden dividir en dos grupos:

- Instalación general.
- Tomas de corriente para uso de los alumnos.

La instalación general estará protegida con interruptores magnetotérmicos y diferenciales según las normas establecidas por el R.E.B.T. A estas líneas estarán conectadas todas las máquinas y elementos auxiliares del taller.

Las tomas de corriente para uso de los alumnos, estarán controladas por el cuadro general del taller, donde además de las protecciones correspondientes, existen aparatos de medidas que controlan los valores de tensión e intensidad.

El cuadro del taller suministrará c.c. y c.a. de valores regulables a voluntad.

Todas las máquinas y aparatos serán debidamente conectados a tierra.

1.11. Normas de seguridad

Las normas de seguridad e higiene, son fundamentales en los trabajos del taller de máquinas eléctricas. Entre otras, las más básicas son dos:

- Cortar la energía eléctrica antes de tocar los circuitos.
- Manipular en las máquinas y sus circuitos, sólo cuando se esté seguro de lo que se quiere hacer.

El resto de normas mínimas de seguridad las marcan los distintos Reglamentos aplicables en cada caso, así le afectará el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión o el Reglamento de Alta Tensión dependiendo del tamaño de la máquina.

Pero además de los Reglamentos mencionados, es necesario observar y cumplir la legislación de seguridad y salud aplicable en cada lugar de trabajo donde se encuentre instalada la máquina, a las que posteriormente, en temas sucesivos haremos referencia.

1.12. Actividades de taller propuestas

Hacer una relación de las máquinas y equipos que el alumno ha observado en el taller, describiéndolos brevemente.

Autoevaluación

1- Describe los circuitos eléctricos con que cuenta el taller.

2- Describe cada una de las máquinas auxiliares que tiene este taller.

3- Relaciona y describe las máquinas para ensayos, existentes en el taller de máquinas.

4- Relaciona los aparatos de medidas eléctricas y explica que miden cada uno.

5- Los aparatos de medidas mecánicas nos sirven para...

6- Escribe todo lo que sepas sobre materiales aislantes.

7- Relaciona el contenido del armario de herramientas.

8- Explica en qué se diferencian a simple vista, las máquinas de c.c. y las de c.a.

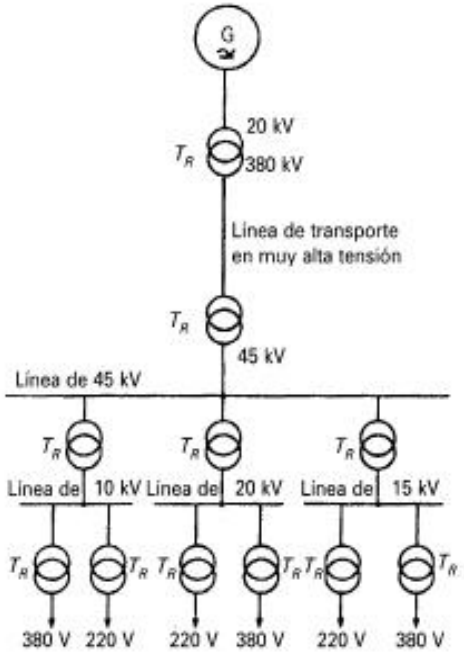
9- Dibuja los símbolos que recuerdas de los aparatos de medidas eléctricas e indica su significado.

10- Mide el espesor de una chapa de transformador apreciando centésimas.

Construcción de transformadores eléctricos de pequeña potencia

Introducción

El físico inglés Michel Faraday descubrió el funcionamiento básico del transformador en 1831, durante sus investigaciones pioneras sobre electricidad. Unos 50 años más tarde, aparece un transformador práctico, que contenía todos los elementos esenciales para revolucionar la naciente industria del alumbrado eléctrico. Al llegar el nuevo siglo, el suministro eléctrico por corriente alterna se había adoptado universalmente y el transformador tenía un papel clave en la trasmisión y distribución de la corriente eléctrica.



El transformador es la máquina que hace posible diariamente que podamos utilizar la energía eléctrica con los valores adecuados a nuestras necesidades, esto es porque, como puede observarse en el siguiente esquema. Interviene en varias etapas, desde que se genera en una central, hasta que el usuario se sirve de ella.

Cuando se genera la energía eléctrica en una central, es necesario elevar la tensión a valores muy altos, con objeto de reducir las pérdidas de energía en el transporte. Después ya en el lugar de utilización o distribución, se reduce el valor de la tensión, proceso que se realiza en varias etapas, hasta llegar a la tensión conocida de 220 V. Pero también el usuario último utilizará pequeños transformadores para su maquinilla de afeitar, grabadora, televisor, etc.

Contenido

- *Constitución del transformador.*
- *Principio de funcionamiento del transformador.*
- *Cálculo analítico de transformadores de pequeña potencia.*
- *Proceso de construcción de un transformador.*
- *Ejemplos resueltos.*
- *Reparación de transformadores y autotransformadores.*
- *Cálculo de pequeños transformadores, mediante ábacos.*
- *Actividades de taller propuestas.*
- *Autoevaluación.*

Objetivos

- *Calcular y construir transformadores de pequeña potencia, monofásicos y trifásicos para baja tensión.*

2.1. Constitución del transformador

Está formado por un circuito magnético y dos circuitos eléctricos, fig.2.1.

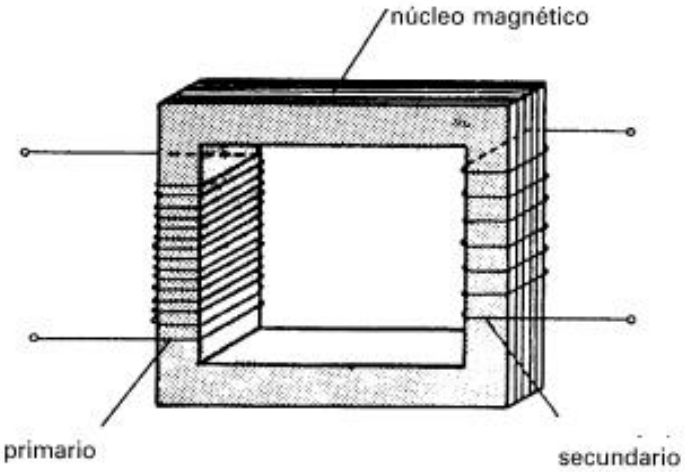


Figura 2.1.Partes fundamentales de un transformador.

2.1.1. Circuito magnético

Está constituido por chapas de aleaciones de hierro-silicio o hierro-níquel generalmente, aisladas unas de otras para limitar las pérdidas por corrientes de FOUCAULT. El espesor de las chapas suele oscilar entre 0,33 y 0,5 mm.

La formas del núcleo, fig. 2.2, pueden ser:

a) Sin acorazar.

b) Acorazados.

c) Anulares.

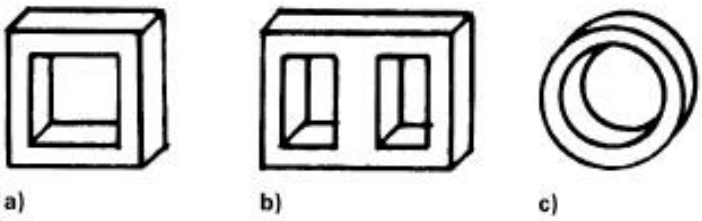


Figura 2.2. Formas de los núcleos

El más utilizado es el acorazado, que consta de tres ramas, siendo la rama central de doble sección que las laterales. Con ello se consigue:

1- Aumentar la superficie total de refrigeración, reduciéndose el calentamiento.

2- Reducir el número de espiras y la resistencia óhmica en un 30% aproximadamente.

Los núcleos acorazados están formados por chapas con forma de "E e I", como se observa en la fig. 2.3, colocadas adecuadamente.

DATOS TÉCNICOS	
Longitud del circuito magnético	11,4 cm.
Peso aprox. de 10 mm de chapa apilada	0,180 Kg
Volumen aprox. de 10 mm de chapas apiladas	19 cm^3

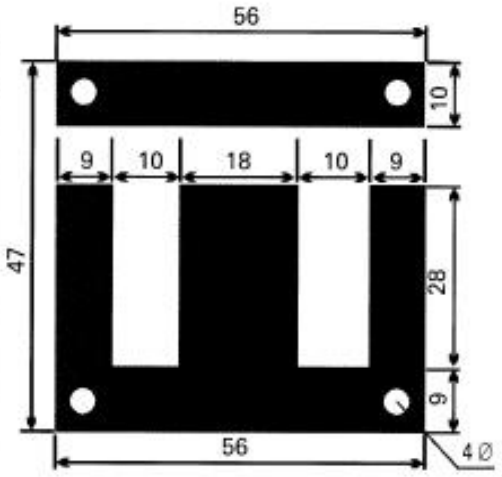


Figura 2.3. Formas y dimensiones normalizadas de chapas, con datos técnicos, referidos al modelo.

2.1.2. Circuitos eléctricos

El circuito que recibe la energía eléctrica se llama primario y el que la suministra transformada, es el circuito secundario.

El transformador es una máquina reversible, es decir, que el circuito primario puede actuar como secundario y éste, como primario. Ejemplo; Un transformador de 125/220 V, podemos conectarlo a una red de 125 V y sacar 220 V de sus secundario, o bien conectarlo a una red de 220 V y sacar 125 V.

Los circuitos eléctricos de los transformadores de pequeña potencia se realizan con hilo de cobre electrolítico esmaltado.

2.2. Principio de funcionamiento del transformador

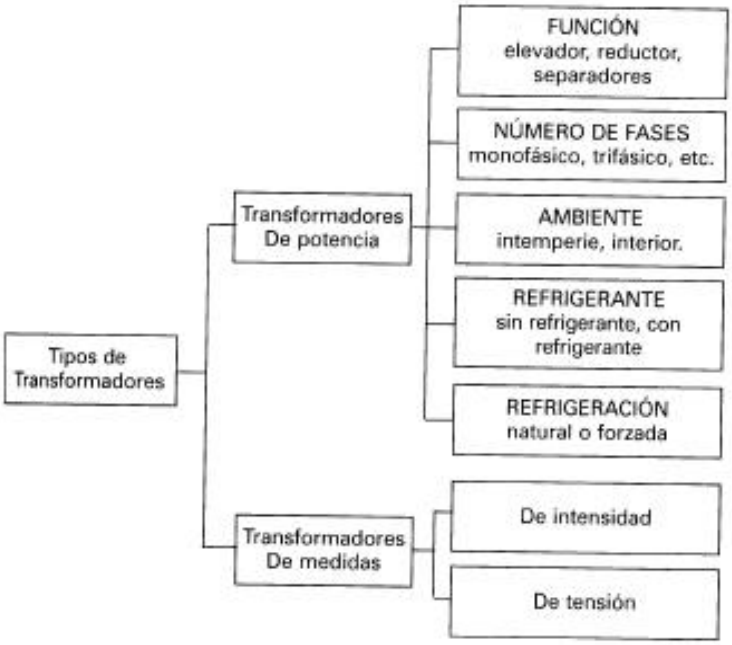
Es una máquina estática y sólo puede funcionar con corriente alterna (c.a.), puesto que para generar corriente inducida, es necesario someter un conductor a variación de flujo, bien moviendo éste dentro del campo magnético o haciendo que el campo sea variable, si tenemos en cuenta que la máquina es estática, no es posible mover ni el conductor, ni el campo, por tanto la solución será que el campo creado por la corriente sea alterno y para ello es necesario que se alimente el circuito con c.a.

En todo transformador sea de tensión o de intensidad, entre sus valores primarios y secundarios siempre hay una relación constante que se denomina relación de transformación, y se representa por (m).

$$m = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

2.2.1. Clasificación de los transformadores

Como puede observarse en el siguiente esquema, se clasifican en:



2.2.1.1 Los transformadores de potencia

Son empleados en las redes de distribución de energía, para elevar o reducir la tensión e intensidad según convenga. Para el transporte y con objeto de reducir las pérdidas, se eleva la tensión y se reduce la intensidad y en el lugar de utilización se hace la operación inversa, de forma que utilizamos bajas tensiones con alta intensidad. De ahí, que los transformadores puedan ser elevadores, reductores y de aislamiento o separadores.

Dependiendo del número de fases, sobre las que interviene un transformador, puede ser; monofásicos, trifásicos y otras posibles combinaciones.

Según el lugar de su instalación, serán de intemperie o de interior, tema importante a la hora de elegirlos.

De acuerdo con el refrigerante usado en el interior de los bobinados, pueden ser secos si no llevan refrigerante, encapsulados en resina epoxi y con aceite o silicona.

La refrigeración necesaria depende de la potencia de la máquina, a potencias bajas normalmente no se eleva la temperatura excesivamente, siempre que haya una circulación natural de aire. En grandes potencias y aunque el transformador esté a la intemperie, es necesario a veces, ayudarle a reducir temperatura, bien acoplando serpentines de enfriamiento del aceite y/o instalando ventiladores. De ahí, que se denominen de refrigeración natural o de refrigeración forzada.

2.2.1.2. Transformadores de medidas

Éstos pueden ser de tensión o de intensidad. Su función fundamental consiste en aislar y adecuar, aprovechando las características básicas de los transformadores. Con ello se evitan riesgos eléctricos y es posible utilizar aparatos de medidas eléctricas normales, que sin ellos no sería posible.

2.2.2. Autotransformadores

Son máquinas cuyos bobinados primarios y secundarios están unidos físicamente, cosa que no ocurre en los transformadores. Suelen ser los usados en todos aquellos casos en que hay poca diferencia entre la tensión primaria y secundaria. También puden ser elevadores o reductores como el transformador.

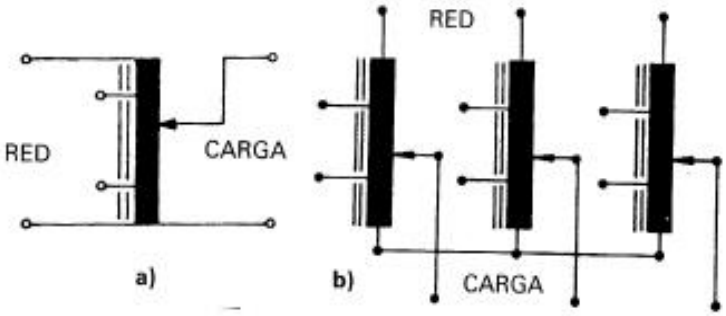


Figura 2.4. Esquemas de autotransformadores monofásico a) y trifásico b), ambos de regulación continua.

Las ventajas que ofrece el autotransformador respecto al transformador son las siguientes:

- Ahorro en materiales al construirlo y como consecuencia menos pérdidas por efecto JOULE, en el hierro, menos peso, más económico, etc.
- Pueden ser utilizados como reguladores de tensión alterna de una forma continua, económica y precisa. Para ello serán generalmente toroidales y con cursor, como puede observarse en la figura 2.4.

Los inconvenientes frente a los transformadores es su falta de aislamiento entre primario y secundario, lo que hace que no puedan ser utilizados como separadores entre la red de distribución y el usuario de los circuitos. (Ejemplo: transformador separador exigido por el Reglamento Electrotécnico, para montar una toma de corriente en el volumen prohibido de los cuartos de baño).

2.2.3. Símbolos para representar los transformadores

Teniendo en cuenta que los transformadores suelen formar parte de los circuitos eléctricos y éstos a su vez se representan en esquemas, es necesario saber cuál es el símbolo adecuado y poderlo interpretar. En la figura 2.5, se reflejan los símbolos más utilizados para:

- Transformadores monofásicos de 5.000 V en el primario y 230 V en el secundario, 20 KVA a 50 Hz. El símbolo A corresponde a la representación unifilar, B y C a la multifilar.
- Autotransformadores monofásicos de 380 V en el primario y regulables de 0 a 380 V en el secundario, 1 KVA a 50 Hz. El símbolo D corresponde a la representación unifilar, el E a la multifilar.
- Transformadores trifásicos de 6000 V en el primario y 380 V en el secundario, 400 KVA a 50 Hz. Conexión en triángulo en el primario y estrella en el secundario. Los símbolos F, G y H representan el mismo transformador.

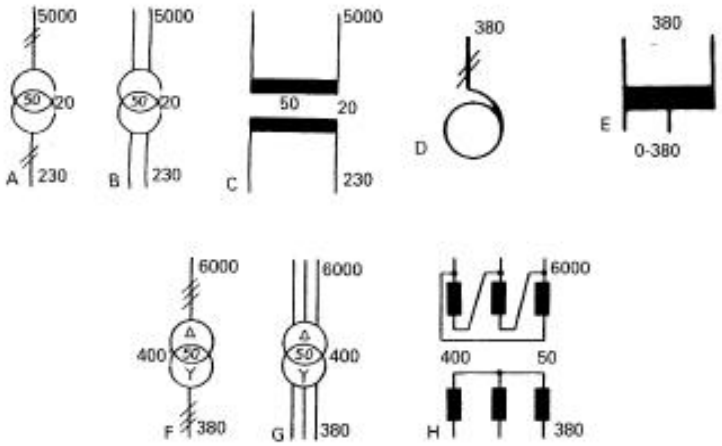


Figura 2.5. Símbolos de transformadores y autotransformadores.

2.3. Cálculo analítico de transformadores de pequeña potencia

Teniendo en cuenta lo dicho, los transformadores tienen un rendimiento muy alto, aunque éste no lo sea tanto en los de pequeña potencia, podemos considerar que la potencia del primario es prácticamente igual a la del secundario, ($P_1 = P_2$).

Para calcular un transformador se parte de unas necesidades como son:

Up = Tensión en el primario.
Us = Tensión en el secundario.
P = Potencia necesaria.

2.3.1. Sección del núcleo

Este cálculo ha de hacerse en función de la potencia aparente, aplicando la siguiente relación:

Sn = a x $\sqrt{P}$ donde:

Sn -Sección del núcleo en cm^2.
P - Potencia aparente en VA.
a - Coeficiente dependiente de la calidad de las chapas, se pondrá 1 para las malas y **0´7** para las buenas (valores aproximados).

El resultado obtenido es la sección neta del núcleo y por tanto no debe ser inferior, ya que si se reduce, provocaría calentamientos excesivos del hierro.

2.3.2. Número de espiras

La f.e.m.,(fuerza electromotriz) generada por un bobinado en valor eficaz es:

$$E = \frac{4{,}44 \cdot \Phi \cdot f \cdot Ns}{10^8}$$

4,44 - Es una constante.
$\Phi = \beta.S$ en maxvelios.
f - Frecuencia en Hz.
Ns - nº. de espiras necesarias.
E - f.e.m. en voltios.

Despejando de aquí el número de espiras (Us), nos queda:

$$Ns = \frac{E \cdot 10^8}{4{,}44 \cdot \Phi \cdot f}$$

Ns, es el número de espiras totales que ha de tener un bobinado para generar un determinado valor de E. Pero si lo que deseamos es conocer el número de espiras necesarias para generar un voltio, bastará dar a E, valor 1, y de esta forma nos queda la fórmula:

$$Ns \,/\, v = \frac{10^8}{4{,}44 \cdot \Phi \cdot f}$$

El cálculo hemos de realizarlo para el bobinado primario y para el secundario, o bien, una vez conocido el valor de uno de ellos y teniendo en cuenta la relación de transformación de cualquier transformador, se puede despejar de ella.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Ha de tenerse en cuenta que en el caso de los transformadores trifásicos estas tensiones, serán las de cada bobinado, independientemente de la tensión de la línea y de la conexión.

NOTA.- El valor de la inducción (β), depende del tipo de chapa a emplear, y es facilitado por el fabricante de estas. Este valor suele oscilar entre 10.000 y 11.000 gauss.

2.3.3. Sección de los conductores de los bobinados

Para calcular la sección de los conductores hay que tener en cuenta la potencia y tensiones, de donde podemos decir que:

$P = Up \cdot Ip = Us \cdot Is$ en VA para transformadores monofásicos.

$P = Up \cdot Ip \cdot \sqrt{3} = Us \cdot Is \cdot \sqrt{3}$ en VA para los trifásicos. De estas igualdades se despejan las intensidades:

$$Is = \frac{P}{Us} \; ; \; Ip = \frac{P}{Up} \text{; en los monofásicos.}$$

$$Ip = \frac{P}{Up \cdot \sqrt{3}} \; ; \quad Is = \frac{P}{Us \cdot \sqrt{3}} \text{ en los trifásicos.}$$

Dividiendo las intensidades por la densidad de corriente admisible para cada gama de potencias, como se refleja en la siguiente tabla.

POTENCIA DEL TRANSFORMADOR	DENSIDAD MÁXIMA DE CORRIENTE EN A/mm²
10 a 50 VA	4
51 a 100 VA	3,5
101 a 200 VA	3
201 a 500 VA	2,5
501 a 1000 VA	2
1001 a 1500 VA	1,5

$$Sp = \frac{Ip}{D}\ ; \quad Ss = \frac{Is}{D}$$

La densidad se dará en A/mm², con lo que la sección saldrá en mm².

2.4. Proceso de construcción de un transformador

Siempre que se ha de construir un transformador, se parte de una necesidad concreta, que se cuantifica en tensión de red y tensión e intensidad de secundario. Conocidos estos datos, hemos de proceder a realizar los cálculos y posteriormente a la construcción, pero la mejor forma de conocer el proceso será realizando el siguiente ejemplo.

Ejemplo. Calcular un transformador monofásico, cuyos datos son: Tensión de primario 220 V, secundario 48 V y 1 A.

2.4.1. Cálculos necesarios

En primer lugar hemos de calcular la potencia aparente del transformador:

$$P = Us \cdot Is = 48.1 = 48\ VA$$

$Sn = a\sqrt{P} = 0{,}9 \cdot \sqrt{48} = 0{,}9 \cdot 6{,}9 = 6{,}23\ cm^2$. Hemos tomado 0,9 como valor aproximad de (a).

$$n^o.\ esp\ /\ V = \frac{10^8}{4{,}44 \cdot f \cdot \beta \cdot S} = \frac{100.000.000}{4{,}44 \cdot 50 \cdot 10000 \cdot 6{,}23} = 7{,}23\ esp\ /\ V$$

$$N_1 = Up \cdot n^o\ esp\ /\ V = 220 \cdot 7{,}23 = 1.590\ espiras$$

$$N_2 = Us \cdot n^o\ esp\ /\ V = 48 \cdot 7{,}23 = 347\ espiras$$

$$P = Up \cdot Ip = Us \cdot Is;\ Ip = \frac{Us \cdot Is}{Up} = \frac{48.1}{220} = 0{,}21\ A$$

$$Sp = \frac{Ip}{D} = \frac{0{,}21}{4} = 0{,}05\ mm^2$$

$$Ss = \frac{Is}{D} = \frac{1}{4} = 0{,}25\ mm^2$$

$$\text{Diámetro} = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4.0{,}05}{3{,}1416}} = 0{,}25\ mm$$

$$\text{Diámetro} = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4.0{,}05}{3{,}1416}} = 0{,}56\ mm$$

RESUMEN:

SECCIÓN DEL NÚCLEO / Sn = 6,23 cm²

PRIMARIO/ Up = 220V, Np = 1.590 esp. Ø hilo = 0'25mm.

SECUNDARIO/ Us = 48V, Ns = 347 esp. Ø hilo = 0'56 mm.

2.4.2. Proceso de montaje

Ya tenemos todos los datos necesarios para construir el transformador, veamos como hacerlo:

- En primer lugar, partiendo de unas dimensiones de chapas (a elegir en catálogo), calculamos el número, de éstas necesario para formar la sección que nos da el cálculo. Supongamos para este caso, que tienen las dimensiones de la figura 2.3, y sabemos que hemos de conseguir 6,23 cm², partiendo de que Sn = a.b; y teniendo en cuenta que en la chapa elegida (b = 18mm), queda:

$$a = \frac{S}{b} = \frac{6{,}23}{1{,}8} = 3{,}46\ cm$$

que es necesario conseguir, poniendo una chapa sobre otra, pero si consideramos que cada chapa tiene un espesor de 0,5 mm, el nº de ellas será:

$$n^o\ chapas = \frac{34{,}6}{0{,}5} = 69\ chapas$$

Este número de chapas nos proporciona la sección neta, pero es necesario contar con el espesor del barniz de la chapa, que puede ser de algunas décimas de mm, para elegir el tamaño del carrete a emplear, o en caso necesario construir con cartón adecuado, pero en cualquier caso, el interior del carrete ha de ser de dimensiones adecuadas para alojar la sección geométrica del núcleo.

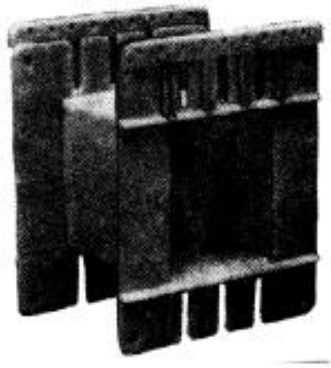


Figura 2.6. Molde o carrete empleado en construcción de pequeños transformadores.

El siguiente paso es proceder al bobinado del circuito primario, para ello se pone un aislante y capa por capa se van poniendo las espiras, como puede observarse en la figura 2.7. A continuación se cubre este bobinado con cartón y se inicia el bobinado secundario, dejando tanto del arrollamiento primario

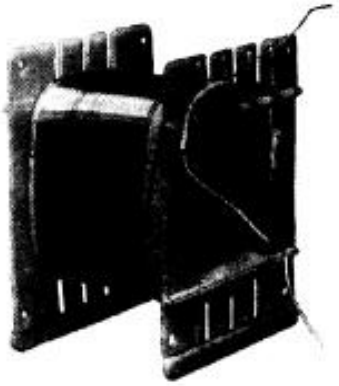


Figura 2.7. Aspecto del bobinado primario.

como del secundario, los extremos previamente soldados a conductores suficientemente largos y de características mecánicas adecuadas para después realizar las conexiones. Los conductores deben estar marcados con las siglas, P_1 y P_2 el principio y final respectivamente del arrollamiento primario, con S1 y S2 los correspondientes al secundario. A continuación se cubre todo el bobinado con un segundo cartón en el que se pueden escribir las características, quedando como muestra la figura 2.8.

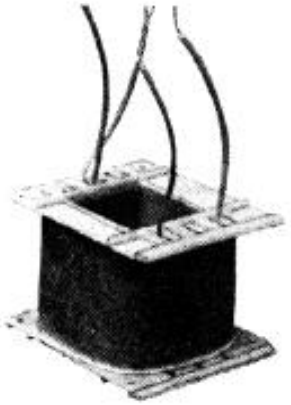


Figura 2.8. Fotografía del bobinado completo del transformador.

- Una vez que hemos terminado el bobinado, hemos de formar el núcleo con las chapas que habíamos calculado, para ello, las colocaremos alternativamente en sentido opuesto como puede observarse en la figura 2.9.

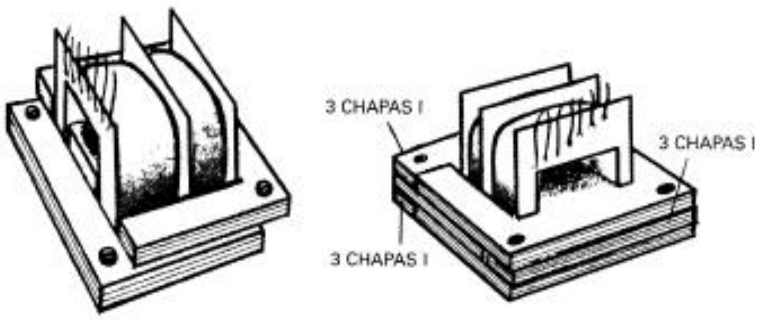


Figura 2.9. Montaje del núcleo de un transformador pequeño.

2.4.3. Ensayos previos al montaje de la carcasa

Terminado el montaje de las chapas que forman el núcleo, es necesario comprobar:

- La continuidad de los conductores de los circuitos primarios y secundarios, ello se puede hacer con una lámpara serie o bien con un polímetro adecuado.
- El aislamiento entre los dos circuitos, primario y secundario, así como el aislamiento entre estos y el circuito magnético o núcleo. Esta comprobación debe hacerse con una lámpara serie conectada a 220 V, o con un megóhmetro.

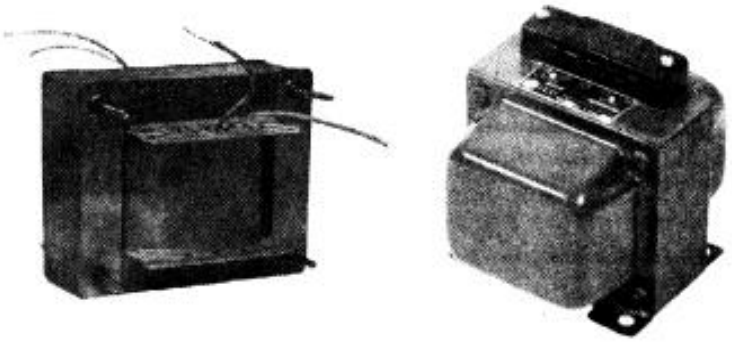


Figura 2.10. Aspecto de un transformador montado con espárragos de sujeción, con carcasa y sin ella.

2.4.4. Barnizado

Realizados con éxito los ensayos y conexionados de los devanados a sus terminales o placas de bornes, se procede al secado en el horno, y posteriormente se impregna del barniz adecuado para el secado en horno y se procede de nuevo a su introducción en el mismo durante el tiempo adecuado. Este proceso puede realizarse también con barniz de secado al aire. A continuación, se procede a montar la carcasa si el transformador va provisto de ella. Los espárragos de sujeción de las chapas que forman el núcleo, irán aislados con respecto al mismo mediante un tubo aislante.

2.5. Ejemplos resueltos

2.5.1. ***Calcular un transformador de 125 V y 220 V en el primario, para un secundario de 1 A y 12, 24, 48 V de tensión en el secundario.***

$$P = Us \cdot Is = 48 \cdot 1 = 48\ VA$$

$$Sn = a\sqrt{P} = 0{,}9 \cdot \sqrt{48} = 6{,}23\ cm^2$$

$$n^o\ esp/V = \frac{10^8}{4{,}44 \cdot f \cdot \beta \cdot S} = \frac{100.000.000}{4{,}44 \cdot 50 \cdot 11000 \cdot 6} = 6{,}8\ esp/V$$

$$N_{125} = n^o\ esp\ /\ v \cdot 125 = 6{,}8 \cdot 125 = 850\ espiras$$

$$N_{125\text{-}220} = n^o\ esp\ /\ V \cdot 95 = 6{,}8 \cdot 95 = 646\ espiras$$

$$Ip = \frac{Us \cdot Is}{Up} = \frac{48.1}{125} = 0{,}38\ A$$

$$Sp = \frac{Ip}{D} = \frac{0{,}38}{4} = 0{,}095\ mm^2$$

$$\varnothing\ primario = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0{,}095}{3{,}1416}} = 0{,}35\ mm$$

$$N_{12} = n^o\ esp\ /\ V \cdot 12 = 6{,}8 \cdot 12 = 82\ espiras$$

$$N_{24} = n^o\ esp\ /\ V\ (24\text{-}12) = 6{,}8 \cdot 12 = 82\ espiras$$

$$N_{48} = n^o\ esp\ /\ V\ (48\text{-}24) = 6{,}8 \cdot 24 = 163\ espiras$$

$$S = \frac{Is}{D} = \frac{1}{4} = 0{,}25\ mm^2$$

$$\varnothing\ hilo = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0{,}25}{3{,}1416}} = 0{,}55 \text{ mm}$$

RESUMEN:

SECCIÓN DEL NÚCLEO: Sn=6'23 cm²

PRIMARIO: Up=125/220V, N_{125} = 850 espiras, $N_{220\text{-}125}$ = 646 espiras
Ip=0,38A, Sp=0,095mm², ∅ hilo primario = 0,35 mm.

SECUNDARIO: N_{12} = 82 espiras, N_{24} = 82 espiras, N_{48} = 163 espiras.
S = 0'25mm², ∅ hilo secundario = 0'55 mm.

2.5.2. *Calcular un autotransformador trifásico de 1.500 VA, 220/380 V en el primario, conexión estrella y 220 V en el secundario.*

Consideraciones previas. Al aplicar tensión de 380 V al primario, cada bobinado o fase del primario, por estar conectado en estrella, está sometido a una tensión de 380/ $\sqrt{3}$ = 220V. Si aplicamos tensión de 220V al primario, cada bobina o fase soporta una tensión de 220/$\sqrt{3}$ = 127V.

Con respecto al secundario, prácticamente no hay que tenerlo en cuenta, a no ser, a la hora de sacar los bornes, puesto que éstos serán comunes con los del primario para 220V, como puede observarse en los esquemas de la figura 2.11.

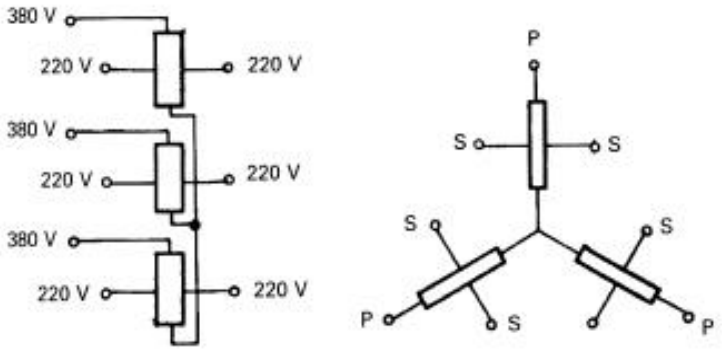


Figura 2.11. Esquemas de conexiones a realizar en el autotransformador del ejemplo.

CÁLCULOS:

Todos los cálculos se hacen igual que para un transformador monofásico.

$$Sn = a\sqrt{P} = 0{,}8 \cdot \sqrt{1500} = 30{,}98\ cm^2$$

Suponiendo que las chapas de que disponemos soportan una inducción de 10.000 gauss.

$$N^o\ esp\ /\ V = \frac{10^8}{4{,}44 \cdot f \cdot \beta \cdot Sn} = \frac{100.000.000}{4{,}44 \cdot 50 \cdot 10000 \cdot 30{,}98} = 1{,}45\ esp\ /\ V$$

Teniendo en cuenta que para 380V en la línea, el bobinado ha de soportar 220V, ya que éste, está conectado en estrella.

$N_{380} = Uf$ x $N^o\ esp\ /\ V$ = 220x1,45 = 319 Espiras que tendrá cada bobina de las tres que forman el autotransformador.

De igual forma que en el caso anterior, el borne para 220V en línea hemos de sacarlo, teniendo en cuenta que en este caso el bobinado ha de funcionar con 127V.

$$N_{220} = Uf x Nesp\ /\ V = 127x1{,}45 = 184\ espiras$$

De acuerdo con los cálculos realizados, al montar el bobinado hemos de sacar un borne cuando llevemos puestas 184 espiras, que será común para primario y secundario (borne de 220 V). Se ponen 135 espiras más, hasta completar las 319 totales, con lo que tendremos el borne de 380 V.

La intensidad máxima se dará para la tensión más pequeña, así:

$$P = U \cdot I \cdot \sqrt{3};\ I = \frac{P}{U\sqrt{3}} = \frac{1500}{220 \cdot \sqrt{3}} = 3{,}9\ A$$

$$S = \frac{I}{D} = \frac{3{,}9}{1{,}5} = 2{,}6\ mm^2 \qquad \varnothing\ hilo = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2{,}6}{3{,}1416}} = 1{,}8\ mm$$

RESUMEN:

SECCIÓN DEL NÚCLEO Sn=30'98=31cm²

TRES BOBINAS DE 319 espiras con hilo de 1'8 mm de diámetro con una toma intermedia a 184 espiras del punto cero.

2.6. Reparación de transformadores y autotransformadores

En muchas ocasiones nos vamos a encontrar con un transformador o autotransformador averiado, en este caso debemos observar qué tipo de avería tiene, bien por inspección visual, si se observa quemado total o parcialmente algunos de sus circuitos, pero si de esta forma no observamos nada, debemos comprobar su continuidad y aislamiento.

Si después de las correspondientes comprobaciones se observa que está averiado alguno de sus circuitos, hemos de hacer lo siguiente:

- Disponer un recipiente para ir echando las piezas.
- Desmontamos la carcasa, si la tiene, con lo que queda con el aspecto de la figura 2.10.
- Se retiran los espárragos y con ayuda de un mazo de plástico se desmontan las chapas que forman el núcleo, como se observa en la figura 2.9.
- Una vez terminado el proceso de quitar las chapas, nos queda sólo el chasis con los bobinados, figura 2.8.
- Quitar ahora el cartón que cubre el bobinado y comenzar a quitar espiras, contando el número de éstas y midiendo la sección del hilo, si es este el bobinado averiado y el resto está todo bien, figura 2.7, no hay más que tomar hilo de las mismas características y rebobinar poniendo el mismo número de espiras. Comprobar que

se ha hecho bien y proceder al montaje siguiendo el proceso explicado en el apartado 2.4.2, 2.4.3 y 2.4.4.

- En el caso que sea el circuito interior el averiado, habrá que desmontar totalmente, contando también el número de espiras y midiendo su sección, en cuyo caso, sólo nos queda el chasis de la figura 2.6, debiéndose sustituir éste si no se encuentra en buenas condiciones.
- Rebobinar totalmente, con las mismas características que tenía antes de la avería siguiendo el proceso ya mencionado.

2.7. Cálculo de pequeños transformadores mediante ábacos

Ahorrar tiempo y cálculos es deseable y si ello es técnicamente posible, será cuestión de ver cómo hacerlo. Con los cálculos matemáticos que hemos visto hasta ahora se pueden confeccionar tablas y ábacos de cálculo que el profesional utiliza siempre que se pueda admitir cierta tolerancia, como en el caso de pequeños transformadores para circuitos de control u otros elementos a tensiones diferentes de las que se dispone en la red.

Supongamos que deseamos calcular un transformador que ha de funcionar en una red de 50 Hz de frecuencia (frecuencia industrial en España) y que ha de suministrar en su secundario 3A a 20V, luego su potencia aparente es 60VA.

Para ello seguiremos el siguiente proceso:

2.7.1. Sección del núcleo

Mediante el **ábaco (I)** determinaremos la sección del núcleo, mirando en el eje de ordenadas, a la izquierda, buscamos el valor más próximo a 60, que es 60 en este caso, nos deslizamos por esa línea hacia la derecha hasta cortar la línea de 50Hz, en este punto bajamos en vertical hasta el eje de accisas, donde encontramos el valor de la sección del núcleo, 8cm².

2.7.2. Número de espiras

Con el **ábaco (II)** se determina el número de espiras por voltio. La cantidad de espiras por voltios está en función de la inducción magnética (en gauss por cm²) y de la sección del núcleo. En nuestro ejemplo para una inducción de 10.000 gauss. En el eje vertical izquierdo tenemos la sección en cm². En el eje vertical derecho (mitad superior), las espiras por voltio para frecuencias comprendidas entre 20 y 300 Hz. En el eje horizontal inferior, las espiras por voltio para frecuencia de 50 Hz. Así para el supuesto que nos ocupa serán 5,5 espiras por voltio, como se refleja en el ábaco II.

Si la frecuencia fuese distinta de 50 Hz, utilizaríamos la mitad superior del ábaco: desde el punto de intersección de los 10.000 gauss, trazaríamos una vertical hacia arriba que cortase la inclinada correspondiente a la frecuencia y desde la nueva intersección, una horizontal hasta el eje vertical derecho.

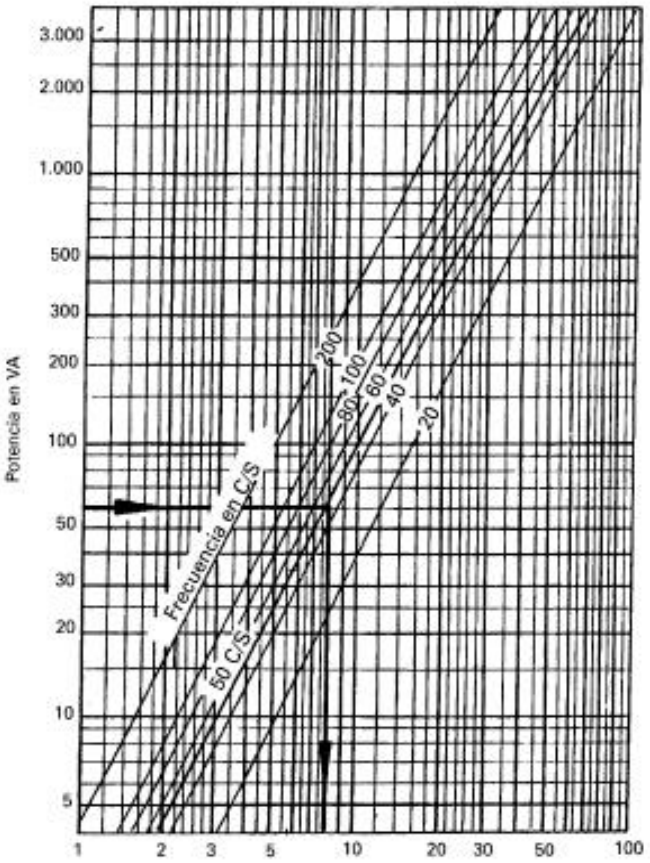
En el caso que nos ocupa, necesitamos 5,5 espiras por voltio, lo que en el secundario representará:

$$Espiras_{secundario} = 20 \cdot 5{,}5 = 110\ espiras$$

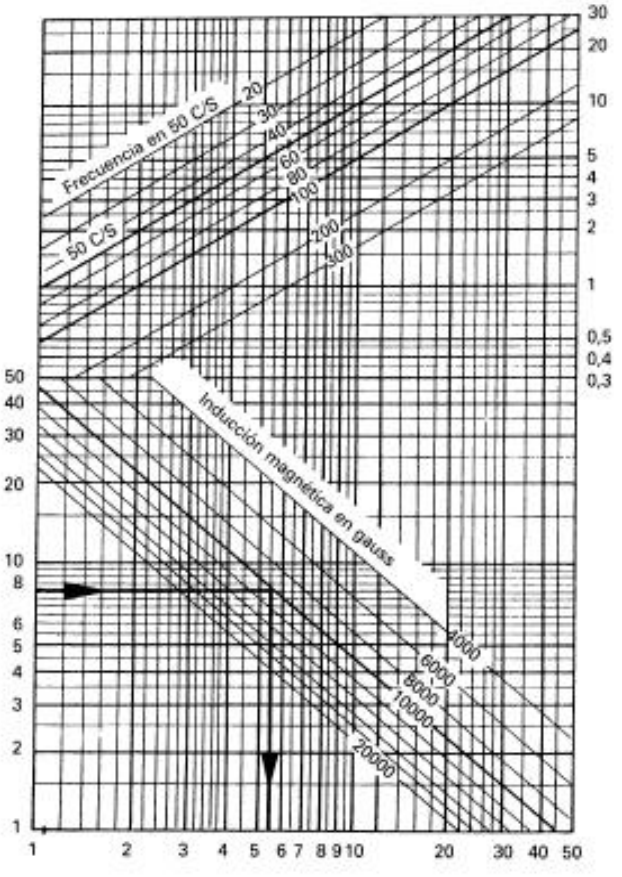
Las espiras del primario dependerán de la tensión que apliquemos. Si la red es de 220 Vtendremos:

$$Espiras_{primario} = 220 \cdot 5{,}5 = 1.210\ espiras$$

ÁBACO I. Cálculo de la sección del núcleo



ÁBACO II. Espiras por voltio



2.7.3. Diámetro del hilo

Este dato se obtiene a partir de la intensidad en amperios que ha de circular por los conductores. Lo obtendremos con el **ábaco III**. Como en nuestro caso, se prevé una intensidad de 3 A para el devanado secundario, y teniendo en cuenta que el ábaco nos da dos diámetros distintos marcados por las dos líneas paralelas inclinadas, 0,7 y 1,5mm. Tomaremos como diámetro el valor medio de los dos, 1mm.

Para conocer el diámetro del hilo del primario, hemos de calcular la intensidad, que en este caso es:

$$V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s ;\ 220 \cdot I_p = 20 \cdot 3 = 60\ VA;$$

$$I = \frac{20 \cdot 3}{220} = \frac{60}{220} = 0{,}2727\ A$$

para este valor, el ábaco III, nos indica 0,27 y 0,4. Tomaremos como diámetro 0,35 mm, valor por otra parte que debe ser comercial y cuando no lo sea, se tomará el inmediato superior.

RESUMEN:

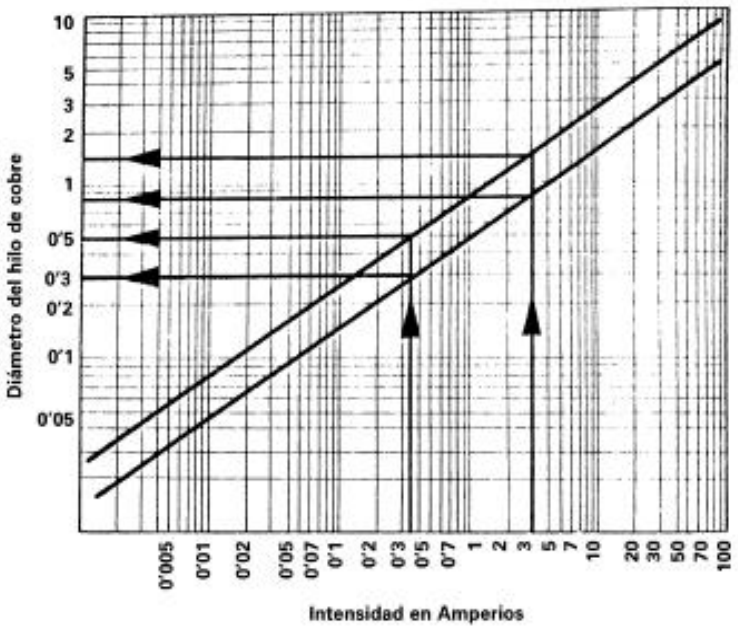
SECCIÓN DEL NÚCLEO: 8 cm².

PRIMARIO: V= 220 V, I = 0,27 A, Np = 1210 espiras,
∅ hilo de cobre=0,35 mm

SECUNDARIO: V = 20 V, I = 3 A, Ns = 110 espiras,
∅ hilo de cobre=1 mm.

Con estos datos se puede dar comienzo al bobinado del transformador siguiendo los pasos ya indicados en ejemplos anteriores.

ÁBACO III. Diámetro del hilo



Actividades de taller propuestas

1- Desmontar un transformador de pequeña potencia, siguiendo el proceso indicado en el apartado 8, y cambiar alguna de sus características, como tensión, intensidad, etc.

2- Calcular y montar un transformador de 220V/380V en el primario y 24V y 7A en el secundario.

3- Calcular un transformador trifásico para 220V en línea y 50V, 2A en el secundario.

Autoevaluación

1- Define las partes de un transformador.

2- Explica las diferencias existentes entre transformador y autotransformador.

3- ¿Cuál es la razón por la que se dice, que los transformadores sólo funcionan con corriente alterna?

4- ¿Por qué se dice que los transformadores son máquinas estáticas?

5- La f.e.m. en los transformadores es proporcional a...

6- Calcular analíticamente un transformador para 220/24V y 6A.

7- Calcular el transformador de ejercicio anterior mediante ábacos.

8- Relaciona por orden de ejecución los pasos a seguir para hacer el rebobinado del transformador o del autotransformador.

9- La sección del núcleo de un transformador es directamente proporcional a ...

10- ¿Cuáles son las pruebas que se deben hacer a los pequeños transformadores antes y después de estar totalmente terminados.

Ensayos de transformadores eléctricos

Introducción

En los transformadores, igual que en el resto de máquinas eléctricas, se producen pérdidas de potencia. Éstas se deben a las pérdidas en el hierro del circuito magnético y también a las del cobre del circuito eléctrico de los bobinados. Las pérdidas pueden determinarse mediante ensayos de vacío y de cortocircuitos respectivamente.

Por tratarse de máquinas estáticas carecen de pérdidas mecánicas.

Contenido

- *Funcionamiento en vacío.*
- *Ensayo de cortocircuito.*
- *Rendimiento.*
- *Medidas de temperatura.*
- *Medidas de aislamiento y continuidad.*
- *Ensayo de la rigidez dieléctrica del aciete.*
- *Actividades de taller propuestas.*
- *Autoevaluación.*

Objetivos

- *Conocer el protocolo de cada ensayo que se ha de hacer a un transformador.*
- *Conocer la realización práctica de los ensayos.*

3.1.Funcionamiento en vacío

La potencia perdida en el hierro del circuito magnético de un transformador puede ser medida en el ensayo de vacío. Se realiza este ensayo dejando abierto el circuito secundario del transformador, mientras se alimenta el circuito primario a su tensión nominal.

La potencia absorbida en estas condiciones corresponde casi exclusivamente a las pérdidas en el hierro.

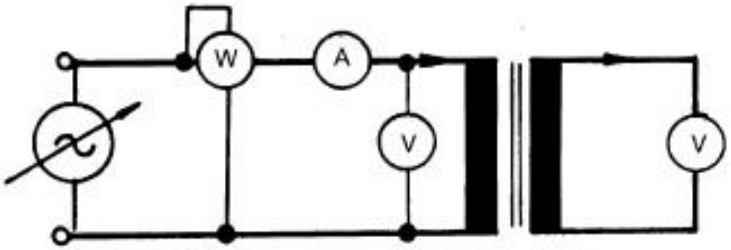


Figura 3.1. Esquema de aplicación para el ensayo de vacío.

En efecto por ser nula la corriente I_2 del bobinado secundario, no aparecen pérdidas de potencia. Por otra parte siendo muy pequeña la intensidad de vacío (I_0), resultan prácticamente despreciables las pérdidas en el cobre (bobinado), del circuito primario. De ahí que se pueda afirmar que I_0, depende del tipo de chapa empleada en el circuito magnético, por ello tendremos que:

a) En transformadores antiguos, de chapa laminada en caliente, I_0 representa entre el 4 y 14% de I_n.

b) En los transformadores actuales, de chapa de grano orientado, laminadas en frío, I_0 representa entre el 0,6 y 8 % de I_n.

3.1.1. Pérdidas en el hierro

Las pérdidas en el hierro pueden calcularse aplicando la siguiente fórmula:

$$P_h = \frac{\beta^{1,6} \cdot K \cdot V \cdot f}{10^7}$$

donde: **P**-en vatios, **f**-en Hz, β-en gauss, **K**-depende del tipo de chapa empleada, **V**-volumen del núcleo en cm³.

Con ello se demuestra que las pérdidas en el hierro son constantes y sólo dependen del material empleado.

También pueden calcularse las pérdidas en el hierro, midiendo la tensión aplicada al primario, la intensidad absorbida en vacío y el coseno, que trasladados a la siguiente fórmula, nos da el valor buscado en vatios.

$$P_h = U_1 \cdot I_0 \cos\varphi_0$$

Aunque se consideran despreciables las pérdidas en el cobre durante el ensayo en vacío, éstas pueden calcularse, midiendo la resistencia eléctrica del bobinado primario, con lo que la potencia perdida será; $P_{cu} = R x I_0^2$ con lo que las pérdidas reales en el hierro, será la potencia leída en el vatímetro, menos las perdidas en el cobre.

$$P_h = P_W - P_{cu}$$

3.1.2. Relación de transformación en vacío

Para conocer la relación de transformación, basta con conectar dos voltímetros, uno entre dos fases del primario y el otro entre dos del secundario, estando éste en vacío. La relación de transformación será:

$$m_0 = \frac{U_1}{U_2}$$

Esta relación es válida para los transformadores monofásicos y aquellos trifásicos cuya conexión de primario y secundario sea igual, (Y-y) estrella-estrella o (D-d) triángulo-triángulo. Cuando la conexión sea distinta, (Y-d) o (D-y) la relación será:

$$m_{(Y\text{-}d)} = \frac{U_1 \cdot \sqrt{3}}{U_2} = m_0 \cdot \sqrt{3}$$

o bien

$$m_{(D\text{-}y)} = \frac{U_1}{U_2 \cdot \sqrt{3}} = \frac{m_0}{\sqrt{3}}$$

3.2. Ensayo de cortocircuito

Con este ensayo se pueden obtener principalmente las siguientes características:

a) Pérdidas en el cobre o circuitos eléctricos.

b) Tensión de cortocircuito o caída de tensión en carga.

c) Impedancia, (resistencia e inductancia de cortocircuito).

d) Intensidad máxima de cortocircuito.

e) Reactancia, cos φ (coseno de cortocircuito), etc.

Se realiza este ensayo poniendo en cortocircuito el secundario del transformador, y alimentando el primario con una fuente de tensión alterna regulable, desde cero, con lo que se irá aumentando la tensión aplicada, hasta conseguir la intensidad nominal.

A la tensión necesaria para conseguir la intensidad nominal, se le denomina, tensión de cortocircuito (U_{cc}).

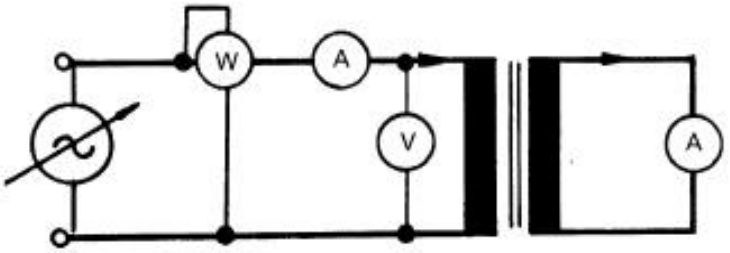


Figura 3.2. Esquema de conexiones para ensayo de cortocircuito.

3.2.1. Pérdidas en el cobre

Como la tensión primaria ha de ser muy pequeña, la inducción en el núcleo magnético será también muy baja, por lo que las pérdidas en el hierro pueden ser despreciables. Por otra

parte teniendo en cuenta que el secundario está en cortocircuito franco, la tensión será nula y también la potencia cedida al exterior. Por tanto, la potencia absorbida por el primario del transformador, corresponderá casi exclusivamente, a las pérdidas por efecto joule en los arrollamientos del primario y del secundario, llamadas pérdidas en el cobre.

3.2.2. Tensión de cortocircuito

Es la tensión que es necesario aplicar al primario de un transformador, que tiene el secundario en cortocircuito, para que por él circule la intensidad nominal (I_n). Esta tensión se expresa en tanto por ciento de la tensión nominal del primario y viene dada por la expresión:

$$\varepsilon_{cc} = \frac{U_{cc} \cdot 100}{U_n}$$

ε_{cc} -Tanto por ciento de la tensión nominal.
U_n -Tensión nominal del primario.
U_{cc} -Tensión de cortocircuito.

3.2.3. Impedancia, resistencia e inductancia de corto circuito

Las expresiones que dan estas magnitudes son:

$$Z_{cc} = \frac{U_{cc}}{I_n} \qquad R_{cc} = \frac{(W_1 \pm W_2)_{cc}}{I_n^2} \qquad X_{cc} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2}$$

3.2.4. Intensidad máxima de cortocircuito

La corriente de cortocircuito es:

$$I_{cc} = \frac{U_2}{Z_{cc}} = \frac{U_{1/m}}{\sqrt{R_{cc}^2 + X_{cc}^2}}$$

La corriente de cortocircuito de un transformador se puede reducir, aumentando la reactancia interior. Sin embargo esto dará lugar al aumento de la tensión de cortocircuito U_{cc} y esto es un inconveniente en el funcionamiento normal del transformador.

3.2.5. Factor de potencia en cortocircuito

La expresión que nos dé el factor de potencia en un cortocircuito será:

$$\cos \varphi_{cc} = \frac{W_1 \pm W_2}{U_{cc} \cdot I_n}$$

Cuyo valor suele ser bajo, aun cuando no tan bajo como el de vacío.

Las medidas proporcionadas por los tres aparatos fundamentales (V, A y W), permiten calcular y trazar todos los elementos del diagrama de KAPP.

3.2.6. Caída de tensión activa y reactiva

Éstas se calculan por las siguientes relaciones:

$$U_{Rcc} = U_{cc} \cdot \cos \varphi_{cc} \qquad U_{Xcc} = U_{cc} \cdot \operatorname{sen} \varphi_{cc}$$

Pero al igual que la tensión de cortocircuito, estos datos, también suelen darse en tanto por ciento, resultando:

$$\varepsilon_{Rcc} = \frac{U_{Rcc}}{U_{n_1}} \cdot 100 \qquad \varepsilon_{Xcc} = \frac{U_{Xcc}}{U_{n_1}} \cdot 100$$

En los transformadores trifásicos las tensiones de cortocircuito suelen ser aproximadamente de los siguientes valores:

TRANSFORMADORES HASTA 1.000 KVA.. ε_{cc} de 3 a 6%
" DESDE 1.000 KVA.. ε_{cc} de 6 a 13%

También es útil saber que: $\varepsilon_{Xcc} \geq \varepsilon_{Rcc}$

POTENCIA	ε_{Xcc}	ε_{Rcc}
$\leq$ 1.000 *KVA*	2,5 a 6 %	1,1 a 2,5 %
$\geq$ 1.000 *KVA*	5 a 13 %	0,4 a 1,3 %

3.3. Rendimiento

El rendimiento de un transformador es variable y depende del valor de la potencia suministrada. Un transformador funciona a su máximo rendimiento cuando la intensidad de la corriente de carga es de valor tal, que resultan iguales las pérdidas de potencias en el hierro y en el cobre.

Normalmente el valor máximo de rendimiento, no corresponde a su régimen nominal. En la práctica los transformadores se calculan para obtener el rendimiento máximo en las condiciones de carga que se supone va a trabajar durante más tiempo.

El rendimiento de un transformador se calcula por métodos directos e indirectos.

a) Directos. Cargando el transformador con una carga real, en el secundario y midiendo la potencia absorbida y la potencia cedida.

$$\eta = \frac{Potencia\ -\ cedida}{Potencia\ -\ absorbida} = \frac{Ps}{Pp}$$

Este método no es aconsejable para transformadores de mediana y gran potencia, puesto que al hacer las medidas se pueden cometer errores importantes.

b) Indirectos. Consiste en tener en cuenta todas las pérdidas que se producen, calculadas en los ensayos de vacío y cortocircuito, teniendo además en cuenta el índice de carga.

El índice de carga se calcula teniendo en cuenta, los valores de intensidad en ambos bobinados para un determinado régimen de carga, así:

$$C = \frac{I_2}{I_{2n}} \equiv \frac{I_1}{I_{1n}}$$

I_1 e I_2 son valores de carga y los de I_{2n} e I_{1n} son valores nominales.

La relación anterior sólo es aceptable cuando $I_0 < I_1$. Teniendo en cuenta que el rendimiento de un transformador en carga es:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{cu} + P_{fe}}$$

P_{fe} - Es prácticamente constante para U_{1n} fija, independientemente del régimen de carga.

P_{cu} - Disminuye con el cuadrado de la carga.

$$P_{cu} = R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2 \cong R_{cc} \left(\frac{I^2}{m}\right)^2 \cong C^2 \cdot P_{cc}$$

Luego el rendimiento a un régimen de carga (C), es:

$$\eta_c = \frac{P_2}{P_2 + P_0 + C^2 \cdot P_{cc}} = \frac{U_2 \cdot In_2 \cdot C \cdot \cos\varphi_2}{U_2 \cdot In_2 \cdot C \cdot \cos\varphi_2 + P_0 + C^2 \cdot P_{cc}}$$

y como consecuencias:

a) Para un índice de carga fijo (C), η_c varía con el factor de potencia de la carga.

b) Para un valor de constante, **($\cos\varphi_2$)** constante, η_c varía en función de C. Así se puede calcular el rendimiento máximo $\eta_{c\ máx}$, para un régimen de carga determinado y **($\cos\varphi 2$)** constante.

$$\eta_c = \frac{U_2 \cdot I_{2n} \cdot \cos\varphi_2 \cdot C}{U_2 \cdot I_{2n} \cdot \cos\varphi_2 \cdot C + P_0 + C^2 \cdot P_{cc}}$$

si en esta ecuación dividimos por "C" en los dos miembros, queda:

$$\eta_c = \frac{U_2 \cdot I_{2n} \cdot \cos\varphi_2 \cdot C}{U_2 \cdot I_{2n} \cdot \cos\varphi_2 + \frac{P_0}{C} + C \cdot P_{cc}}$$

Lo que indica que el rendimiento es máximo, cuando $P_0/C + C \cdot Pcc$ es mínimo. Esta relación valdrá cero, cuando $P_0 = P_{cc} \cdot C^2$, o bien $P_{cc} = P_0$.

El índice de carga adecuado, para un rendimiento máximo será:

$$C_{\eta máx.} = \sqrt{\frac{P_0}{P_{cc}}}$$

EJEMPLO. En un transformador de 500 KVA, 30.000 / 400 V, se obtiene en un ensayo, P_0=1.300 W, P_{cc}=5.200 W.

El índice de carga productor del mejor rendimiento es:

$$C_{\eta máx} = \sqrt{\frac{P_0}{P_{cc}}} = \sqrt{\frac{1.300}{5.200}} = \sqrt{\frac{1}{4}} = \frac{1}{2} = 0{,}5 \text{ De carga.}$$

Estos cálculos podríamos utilizarlos como comparativos en los siguientes casos:

ÍNDICE "C"	cos φ = 1
1/1=1	$\eta = \frac{500 \cdot 1}{500 \cdot 1 + 1{,}3 + 5{,}2 \cdot 1^2} = 0{,}9871668$
1/2=0,5	$\eta = \frac{0{,}5 \cdot 500}{0{,}5 \cdot 500 + 1{,}3 + 5{,}2 \cdot 0{,}5} = 0{,}989707$
1/4=0,25	$h = \frac{0{,}25 \cdot 500}{0{,}25 \cdot 500 + 1{,}3 + 5{,}2 \cdot 0{,}25^2} = 0{,}9871668$

Los datos de la tabla demuestran que el máximo rendimiento se alcanza, como habíamos calculado, para media carga.

3.4. Medidas de temperatura

Antes de hacer medidas de temperatura es necesario aclarar ciertos conceptos fundamentales.

Las pérdidas de potencia que se producen en una máquina eléctrica se transforman en calor.

El calor que se produce en una máquina da lugar a que se eleve su temperatura, y cuando ésta es mayor que la temperatura ambiente, la cede al exterior, a la vez que se sigue elevando la de la máquina. Cuando todo el calor que se produce en la máquina es cedido al exterior, la temperatura de la máquina se estabiliza, se ha llegado al equilibrio térmico.

En funcionamiento nominal de la máquina, a la temperatura alcanzada cuando llega al equilibrio térmico, se le denomina temperatura de régimen. El exceso de temperatura de régimen perjudica seriamente a las máquinas.

La medida de temperaturas se hace con aparatos adecuados, denominados "termómetros". Existen en el mercado varios modelos, suelen ser digitales y con márgenes de medición comprendidos entre -50 ºC y 1.300 ºC.

3.4.1. Calentamiento de un transformador

Es la diferencia entre la temperatura alcanzada por una de las partes del transformador y la temperatura ambiente.

$$\Delta T = T_{maq} - T_{amb}.$$

El calentamiento de un transformador es directamente proporcional a la potencia perdida en la máquina y a la superficie de contacto con el aire.

Para medir el calentamiento de un transformador, se deja funcionar a régimen nominal durante un tiempo, hasta alcanzar el equilibrio térmico, (éste se alcanza cuando durante media hora la temperatura aumenta menos de 0,5 ºC) y en este momento se toman las medidas, con termómetros adecuados.

Los calentamientos a medir son dos:

- Calentamiento local o de un punto determinado. Se calcula aplicando la fórmula:

$$\Delta T = T_{maq} - T_{amb}$$

- Calentamiento medio. Se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$\Delta T = \frac{R_{cal} - R_{frío}}{R_{frío}} (235 + T_{amb})$$

En esta relación intervienen los valores de las resistencias de los bobinados en frío y en caliente, así:

ΔT - Incremento de temperatura (calentamiento medio).
R_{cal} - Resistencia del devanado en caliente.
$R_{frío}$ - Resistencia del devanado en frío.
T_{amb} - Temperatura ambiente.

EJEMPLO. Supongamos que con una temperatura ambiente de 30 ºC, conectamos un transformador en régimen nominal de carga y éste alcanza al cabo de un cierto tiempo una temperatura máxima de 70 ºC, medida en su núcleo. Hemos medido la resistencia de su bobinado secundario en frío y nos da 0,8 Ω, pero a 70 ºC tiene un valor de 0'93 Ω. ¿Cuál es el calentamiento del núcleo? ¿Y el calentamiento medio? $\Delta T = T_{maq} - T_{amb} = 70\text{-}30 = 40$ ºC

El calentamiento medio será:

$$\Delta T = \frac{R_{cal} - R_{frío}}{R_{frío}} (235 + T_{amb}) = \frac{0{,}93 - 0{,}8}{0{,}8} (235 + 30) = 43{,}0625\ ºC$$

3.4.2. Refrigeración de los transformadores

Dado que son máquinas estáticas, la forma de refrigeración tiene que hacerse por la intervención de elementos ajenos a la propia máquina, así podemos encontrar:

- Transformadores secos. Se refrigeran por la circulación natural del aire, en contacto con su estructura. En algunos casos esta refrigeración es forzada por ventiladores. Suelen aplicarse estos transformadores para pequeñas potencias.
- Transformadores de baño en aceite o similar. En ellos, tanto circuitos magnéticos como circuitos eléctricos están sumergidos en el refrigerante, con lo cual éstos ceden el calor al mismo y este al exterior a través de las aletas de los radiadores de refrigeración, a los cuales a veces se les ayuda con ventiladores. Se emplean estos transformadores en grandes potencias.

3.5. Medidas de aislamiento y continuidad

La resistencia de aislamiento entre bobinados, así como entre éstos y masa, es la característica que nos indica el estado en que se encuentran las máquinas, en este caso los transformadores.

Para determinar esta resistencia, que naturalmente debe ser de un valor muy elevado, se emplea un aparato especial o medidor de aislamiento, denominado "Megóhmetro", que nos dará el valor de resistencia en millones de ohmios ($M\Omega$).

El megóhmetro esencialmente consta, como puede observarse en la figura 3.3 de; una batería, un voltímetro, un circuito electrónico y un pulsador doble.

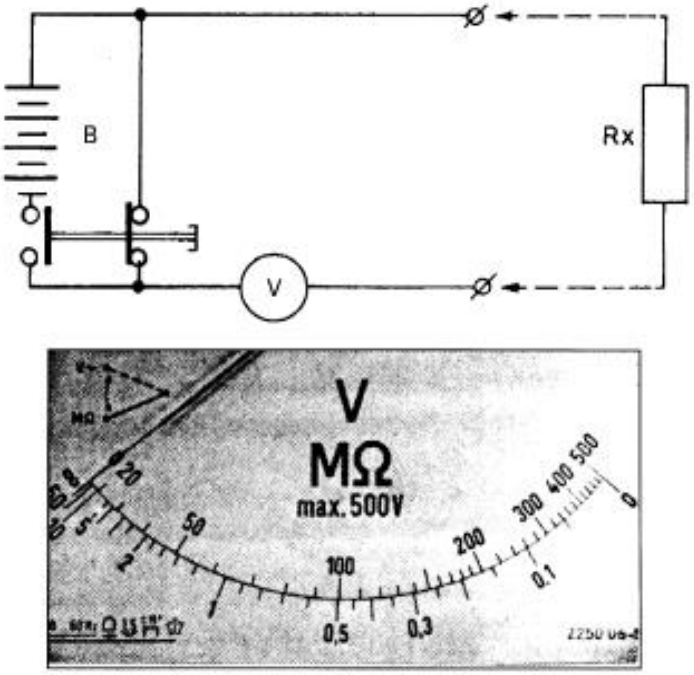


Figura 3.3. Esquema básico de un megóhmetro y aspecto de la escala de un aparato analógico.

Teniendo en cuenta las conexiones del esquema, al conectar el aparato a un circuito, nos marcará directamente la diferencia de potencial existente entre los dos puntos a verificar, si existe tensión, el siguiente paso debe ser cortarla antes de continuar con nuestra medida, pero si por el contrario marca cero, accionaremos el pulsador y nos indicará la resistencia de aislamiento. Previo a la realización de medidas, debe comprobarse el estado de la batería, uniendo sus puntas de prueba en el caso en que sus conexiones sean del tipo del esquema de la figura, normalmente en la escala del aparato existe una graduación especial que nos indica el estado de las baterías. Algunos modelos de aparatos incorporan un pulsador para realizar cada una de las funciones descritas, en todo caso siempre será bueno observar las indicaciones del folleto que se ajunta con el aparato.

Las conexiones que se han de realizar sobre el transformador se reflejan en la figura 3.4.

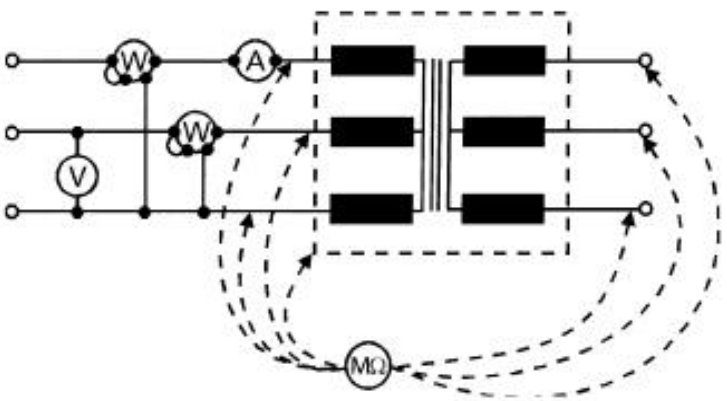


Figura 3.4. Conexiones a realizar para comprobar la resistencia de aislamiento de un transformado.

La resistencia de aislamiento mínima, deberá ajustarse a las Normas UNE que le afecte a cada tipo de transformador, pero en su defecto será como mínimo de 0'5 mega-ohmios (MIE BT 017).

3.6. Ensayo de la rigidez dieléctrica del aceite

La medida de la rigidez dieléctrica en general tiene como misión detectar partes defectuosas de una máquina, como aislantes rotos, corrientes de fuga, etc. Estos defectos no se detectarían con un óhmetro, dada su baja intensidad.

Para obtener plena garantía de que una máquina eléctrica está en perfectas condiciones de funcionamiento, es necesario someterla a una tensión elevada y determinada por las normas que le afectan durante un cierto tiempo mínimo.

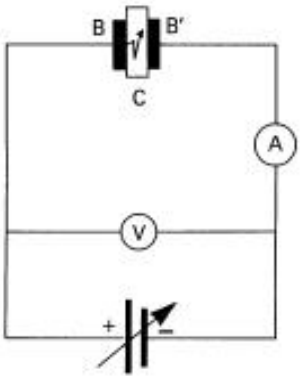


Figura 3.5. Esquema básico de una prueba de rigidez dieléctrica.

El principio básico de la prueba es el siguiente; entre dos placas metálicas se encuentra un material aislante, (aire, cartón, aceite mineral, etc) con un espesor "C". A las placas "B y B´" se le aplica una diferencia de potencial que se puede aumentar progresivamente hasta el momento en que se produzca la perforación del aislante, a esta tensión se llama **tensión de perforación** U_p . Esta tensión depende de la naturaleza y del **espesor C** del material aislante, en cm. A la relación entre las dos magnitudes anteriores, se denomina "**Rigidez dieléctrica**" y se expresa en la siguiente fórmula, la tensión se da en kV y el espesor en cm.

$$R_d = \frac{U_p}{C}$$

La rigidez dieléctrica se da en kilovoltios/centímetros, y es una característica muy importante a tener en cuenta en los transformadores, por ello existen aparatos especiales para hacer estas medidas, dependiendo de que el aislante sea sólido o líquido, se empleará un tipo u otro.

El estado del aceite u otro refrigerante de los transformadores suele analizarse en laboratorios especializados, en los que entre otras características se mide la rigidez dieléctrica de acuerdo con la Norma UNE 21309.

3.7. Actividades de taller propuestas

3.7.1. Ensayos de vacío

Al hacer este ensayo determinaremos las siguientes pérdidas y características:

- Pérdidas de potencia en el hierro.
- Corriente magnetizante y de pérdidas.
- Relación de transformación.
- Factor de potencia en vacío, cos φ_0.

a) Montar el circuito de la figura 3.6, para transformadores monofásicos y completa la tabla siguiente.

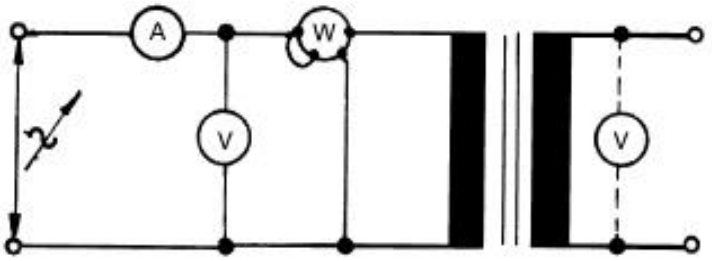


Figura 3.6. Esquema de conexiones para ensayo de vacío a transformadores monofásicos.

U_{1n}	U_2	m_0	$P_0 = W_1$	$I_0 = A_1$	cos φ_0	I_n	$P_{cu} = R \cdot I_0^2$	$P_{Fe} = P_0 - P_{cu}$

b) Montar el circuito de la figura 3.7, para transformadores trifásicos y completar la siguiente tabla.

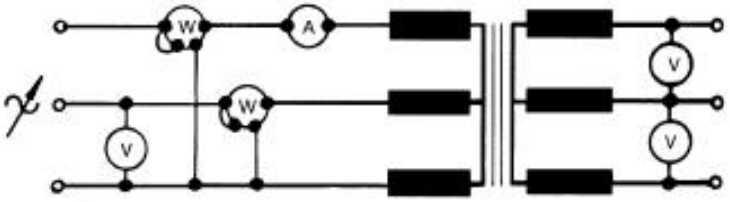


Figura 3.7. Esquema de conexiones para ensayo de vacío en transformadores trifásicos.

U_1	U_2	m_0	W_1	W_2	$P_0 = W_1 \pm W_2$	I_0	cos φ_0	I_n	$P_{cu} = 3xR_1 \times I_0^2$

El desfase entre la tensión del primario (U_1) y la corriente de vacío (I_0), lo puede observar en el osciloscopio, haciendo las conexiones del esquema de la figura 3.8.

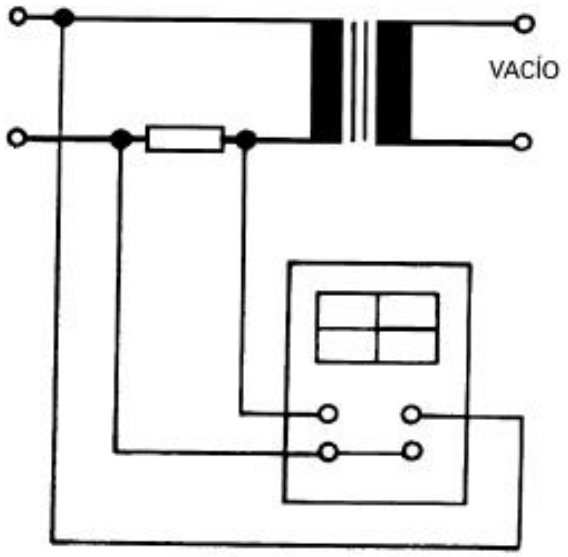


Figura 3.8. Conexiones al osciloscopio para ver el desfase entre tensión e intensidad.

Dibujar en papel milimetrado, una gráfica por cada transformador ensayado, en la que se representen con distinto color, Io, Po, $\cos\varphi_0$, en función de Un.

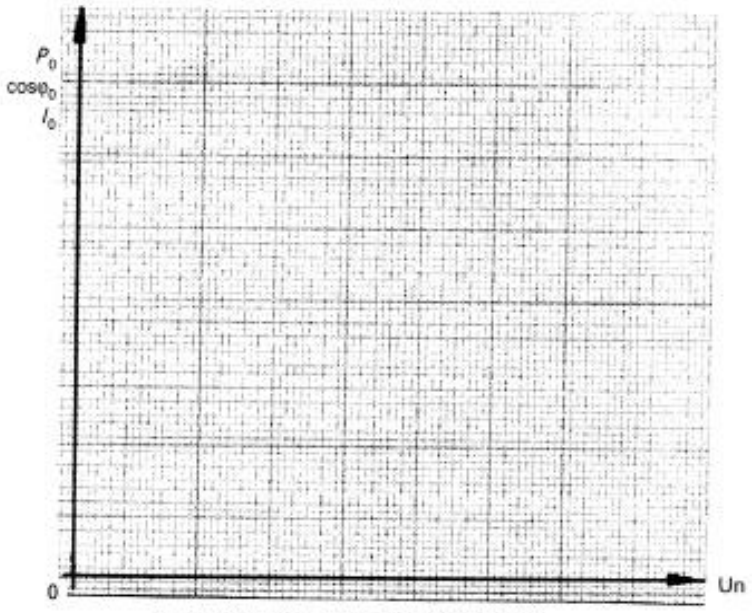


Figura 3.9. Gráfica para ensayo de vacío

3.7.1.1. Material recomendado para el ensayo de vacío

- Un transformador monofásico de 1,5 KVA.
- Un transformador trifásico de 1,5 KVA.
- Dos voltímetros de 0-300 V para c.a.
- Un amperímetro de 0-1-3 A para c.a.
- Dos vatímetros de bajo factor de potencia, 220 V, 5 A, $\cos\varphi = 0{,}33$.
- Un transformador regulable 220 V, 10 A.
- Dos voltímetros de 0-150 para c.a.

3.7.2. Ensayo de cortocircuito

Se hace un ensayo en cortocircuito, cuando se desean conocer las siguientes características de un transformador:

- Pérdidas en el cobre.
- Tensión de cortocircuito.
- Impedancia, resistencia e inductancia.
- Intensidad de cortocircuito.
- Factor de potencia $\cos\varphi_{cc}$,.
- Caídas de tensión activa y reactiva.
- Rendimiento, etc.

Montar el circuito de la figura 3.10 para transformadores monofásicos.

Alimentando el circuito con corriente alterna regulable, ir aumentando ésta, desde cero, hasta un valor que haga circular la intensidad nominal por el circuito primario; a esta tensión la llamaremos de cortocircuito, U_{cc} .

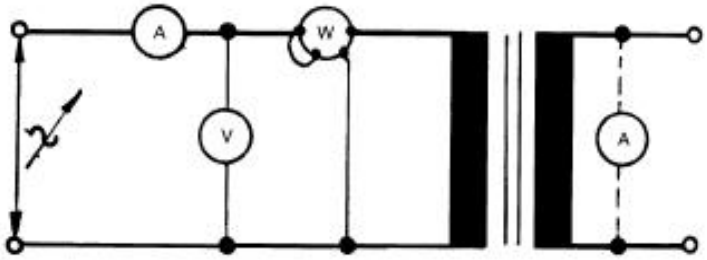


Figura 3.10. Conexiones para el ensayo de cortocircuito a transformadores monofásicos

Completar la siguiente tabla, anotando los valores obtenidos en el ensayo y calcular el resto.

I_{2cc}	U_{cc}	I_{1cc}	W_{cc}	Z_{cc}	R_{cc}	X_{cc}	$\cos\varphi_{cc}$
1/4							
2/4							
3/4							
1							

La intensidad máxima del secundario (I_{2cc}), ha de calcularse en función de la potencia aparente del transformador.

Para el ensayo de transformadores trifásicos se harán las conexiones que se representan en el esquema de la figura 3.11.

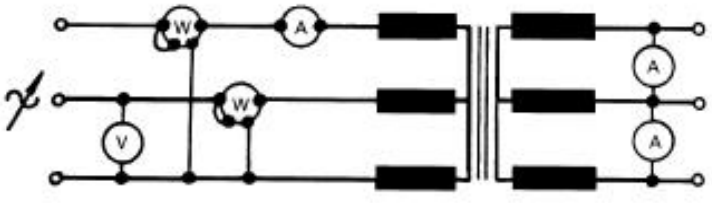


Figura 3.11. Conexiones, para el ensayo en cortocircuito a transformadores trifásicos.

Completar la siguiente tabla con los datos obtenidos y resolver los cálculos necesarios.

I_{2cc}	U_{cc}	I_{1cc}	W_1	W_2	$W_1 \pm W_2$	Z_{cc}	R_{cc}	X_{cc}	cos φ_{cc}
1/4									
2/4									
3/4									
1									

Dibujar en papel milimetrado las curvas correspondientes a potencia de cortocircuito, en función de (I_{1cc}) y (U_{cc}) en función de (I_{2cc}), para ambos transformadores.

Con los datos obtenidos, calcular el índice de carga ideal para conseguir el rendimiento máximo de cada uno de los transformadores ensayados.

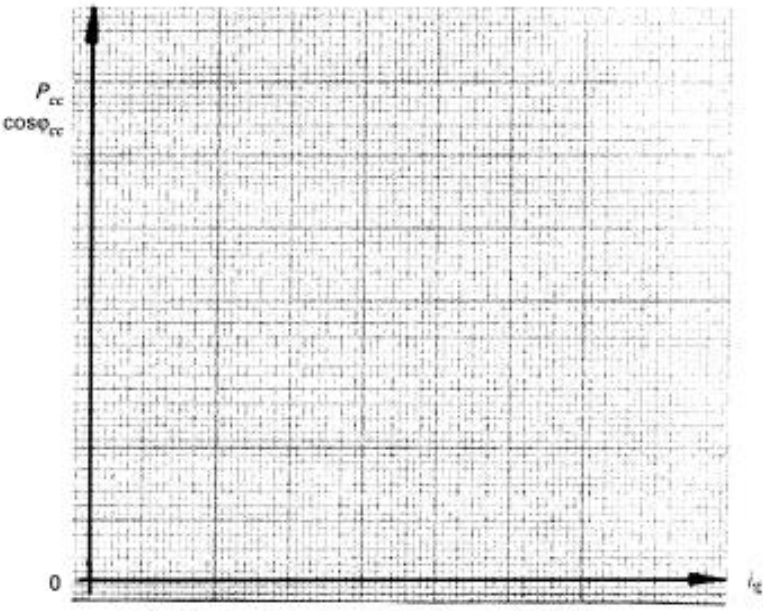


Figura 3.12. Gráfica para ensayos en cortocircuito.

3.7.2.1. Material recomendado para ensayo en cortocircuito

- Dos transformadores, uno monofásico y otro trifásico de 1,5 KVA.
- Un voltímetro de 0-150-250 V c.a.
- Un voltímetro de 0-75 V c.a.
- Dos amperímetros de 0-10 A c.a.
- Dos vatímetros de bajo factor de potencia, 220 V, 5A.
- Autotransformador trifásico regulable de 220 V y 10 A.
- Termómetro.

Autoevaluación

1- Explica para qué se hace un ensayo, a un transformador.

2 -¿Qué tipo de pérdidas se producen en un transformador?

3 -¿Cuáles son las pérdidas que se producen en el circuito eléctrico?

4 -El ensayo de vacío nos proporciona las pérdidas del circuito...

5 -¿Con qué aparato se mide la intensidad de cortocircuito?

6 -La clase del aparato de medida es importante. ¿Qué clase es mejor 1,1,5,0,5 ?

7 -¿Cómo se llama el aparato de medida que nos da la resistencia de aislamiento?

8 -Diseña un dossier, para recoger todos los datos importantes de las pruebas realizadas a un transformador.

9 -Comprueba la reglamentación que afecta a los transformadores separadores de circuitos (MIE BT 035). Haz un resumen.

10 -Enumera algunas normas de seguridad a tener en cuenta en los ensayos de transformadores.

Máquina de corriente continua y sus bobinados

4

Introducción

El físico y matemático francés, André Marie Ampere en 1821; estableció las leyes de la electrodinámica, definiendo la regla de Ampere, de la dirección de las líneas de fuerza, similar a la regla del sacacorchos de Maxwell.

Michael Faraday, inglés, estableció las leyes de la electroquímica y del electromagnetismo, marcando el inicio de la construcción de las máquinas eléctricas con la construcción del disco de Faraday.

Ampere mando construir el primer generador eléctrico de corriente continua en 1832, desde esa fecha hasta nuestros días ha evolucionado, dando como resultado las máquinas actuales.

Contenido

- *Constitución de las máquinas eléctricas de corriente continua.*
- *Bobinado inductor.*
- *Bobinado de conmutación.*
- *Placa de bornas de una máquina de C.C.*
- *Bobinado inducido.*
- *Bobinados imbricados simples.*
- *Ejemplos resueltos de bobinados imbricados simples.*
- *Bobinados imbricados múltiples.*
- *Ejemplos resueltos de bobinados imbricados dobles.*
- *Bobinados ondulados serie.*
- *Proceso de cálculo de los bobinados ondulados.*
- *Ejemplos resueltos de bobinados ondulados serie.*

Objetivos

- *Estudio de las diferentes partes de las máquinas de corriente continua.*
- *Cálculos y trazado de los esquemas correspondientes.*

4.1. Constitución de las máquinas eléctricas de corriente continua

La máquina eléctrica de corriente continua, tiene la particularidad de ser reversible en su función, por tanto su constitución es idéntica para su funcionamiento como generador o como receptor. Cuando funciona como generador, se le llama dínamo y cuando lo hace como receptor, motor.

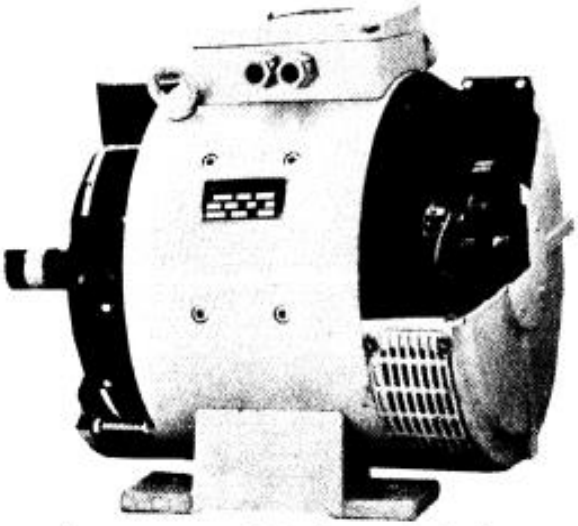


Figura 4.1. Aspecto físico de una máquina de c.c.

La máquina de c.c., como toda máquina eléctrica consta de dos circuitos eléctricos y un circuito magnético. En la figura 4.2 puede observarse de forma esquematizada las partes de una máquina de c.c., así como su situación física en el interior de la misma.

Figura 4.2. Partes fundamentales de una máquina de c.c.

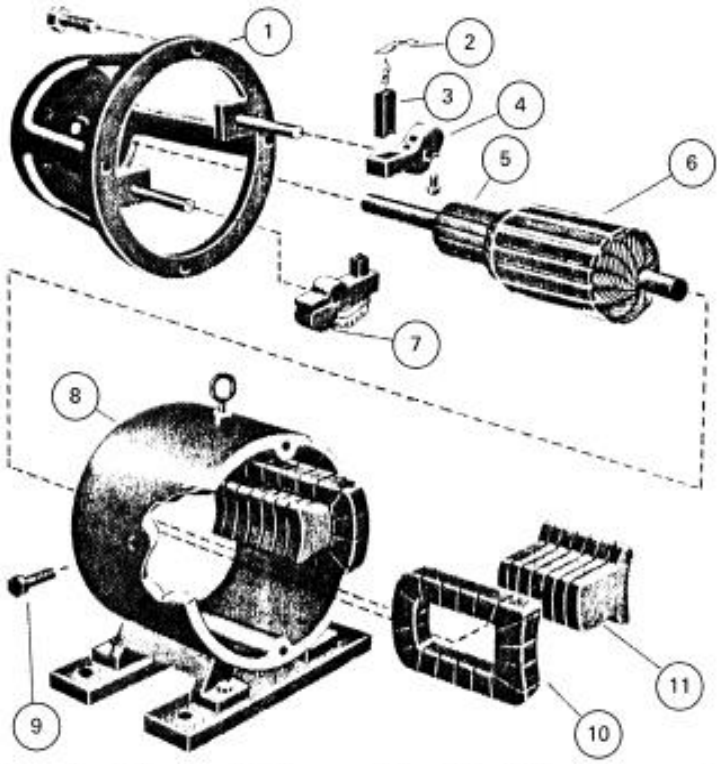
Entre los circuitos eléctricos de la máquina que nos ocupa hay que destacar, que en muchas ocasiones estas máquinas disponen en su estator de dos circuitos, uno el principal de excitación y otro auxiliar de conmutación.

El circuito inducido, siempre va montado sobre el rotor, como estudiaremos más adelante.

En el circuito magnético podemos observar las siguientes partes:

- Culata o carcasa. Pieza que soporta toda la máquina y sobre la que se fijan el resto de componentes, suele estar hecha con hierro dulce macizo.
- Piezas polares. También se llaman zapatas polares, son los núcleos sobre los que se colocan los bobinados de excitación y de conmutación, pueden estar hechos con hierro dulce macizo o con chapas apiladas, ya que en este caso el campo es contante y por tanto no se da lugar a las pérdidas por creación de corrientes de FOUCAULT.
- Entrehierro. Espacio de aire comprendido entre el rotor y las expansiones polares.
- Núcleo rotórico. Está constituido por un paquete de chapas magnéticas, troqueladas adecuadamente para dar cabida al circuito inducido. Este núcleo debe estar formado por chapas apiladas ya que ha de estar sometido a un campo magnético variable y por tanto puede dar lugar a pérdidas por corrientes de FOUCAULT.

En la figura 4.3, puede observarse el despiece completo de una máquina de c.c. El nombre correspondiente a cada pieza es el siguiente:



1- Escudo, 2-Muelle o fleje de escobilla, 3-Escobilla, 4-Portaescobillas, 5-Colector, 6-Inducido, 7-Escobilla montada en su soporte o portaescobillas, 8-Carcasa, 9-Tornillo para sujeción del polo, 10-Bobina inductora o polar, 11-Núcleo polar.

Figura 4.3. Despiece de una máquina de c.c.

4.2. Bobinado inductor

El sistema inductor, que produce el campo magnético necesario para crear corrientes inducidas, puede ser producido por imanes permanentes o por electroimanes.

Los inductores constituidos por imanes permanentes son de acero templado y entre sus polos está colocado el inducido en forma análoga a una dínamo bipolar, son las magnetos

empleadas en las bicicletas, pero la escasa potencia que es capaz de desarrollar, las hace inadecuadas para la aplicación industrial.

Los inductores constituidos por electroimanes, tienen un núcleo de hierro y una bobina que le rodea, por la que circula la corriente de excitación. En los bobinados inductores hay que distinguir entre, bobinado inductor principal y el bobinado inductor auxiliar.

Bobinado inductor principal, tiene como misión crear el flujo necesario para que se genere la fuerza electromotriz deseada en el bobinado inducido.

Bobinado inductor auxiliar, está formado por las bobinas colocadas en los polos de conmutación y su misión es mejorar las condiciones de funcionamiento de la máquina, principalmente la conmutación.

Las bobinas inductoras, tanto principales como de conmutación, son construidas por separado, bobina por bobina, sobre unas plantillas. El número de espiras (N_s) y sección de las mismas debe ser tal que al ser recorridas por la corriente de excitación (i), produzcan la fuerza magnetomotriz (F) para crear el flujo (Φ) correspondiente, así: $F = 1{,}25 \times i \times N_s$

RECORDEMOS:

$$\Phi = \frac{F}{R} \text{ donde } \Rightarrow \quad F = 1{,}25 \cdot i \cdot N_s \;, \quad R = \frac{l}{\mu \cdot S}$$

Φ es el flujo, F es la fuerza magnetomotriz, R es la reluctancia, l es la longitud del circuito magnético, S es la sección del núcleo y (μ) es la permeabilidad del material que forma el núcleo y que depende de la intensidad de campo a que esté sometido.

Las bobinas inductoras o polares tendrán distintas características, según se empleen para máquinas de excitación; independiente, serie, shunt o compound.

4.2.1. Excitación independiente

Las bobinas inductoras son recorridas por la corriente suministrada por una fuente de alimentación exterior a la máquina. La corriente de excitación puede ser regulada por un reóstato o por la propia fuente.

4.2.2. Excitación serie

Las bobinas inductoras en este caso, son recorridas por la misma corriente generada por el inducido y absorbida por la carga. Por tanto, serán de pocas espiras y una sección grande, para provocar la menor caída de tensión posible.

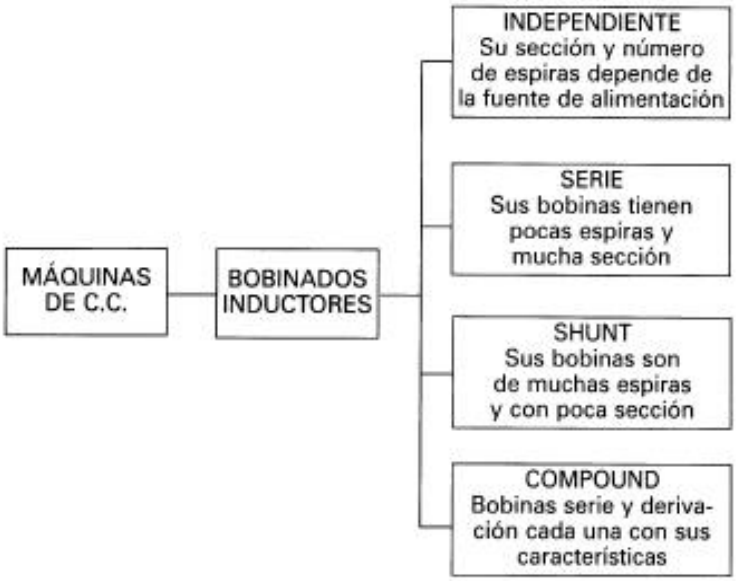
4.2.3. Excitación shunt

En esta conexión, el circuito inductor está conectado en derivación con el circuito inducido y con la carga, distribuyéndose entre ellos la intensidad total. Las bobinas están constituidas por un número elevado de espiras y una sección reducida.

4.2.4. Excitación compound

Llevan dos circuitos uno serie y otro en derivación, cada uno con las características ya comentadas.

El resumen de los distintos tipos de bobinados inductores se refleja en el siguiente esquema.



4.3. Bobinado de conmutación

El bobinado de los polos de conmutación, se conecta en serie con el circuito inducido, o sea que son atravesados por la corriente total que produce la dínamo. La polaridad de cada polo debe ser la misma que la del polo principal al que precede, en función del sentido de giro del inducido, como puede observarse en la figura 4.4.

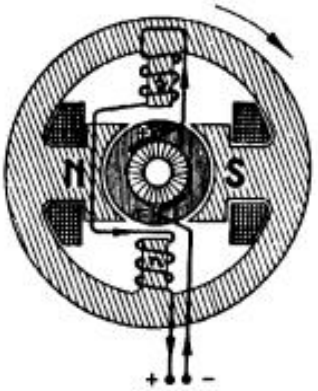


Figura 4.4. Bobinado auxiliar de conmutación

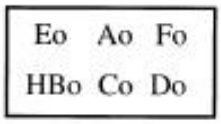
4.4. Placa de bornas de una máquina de C.C

Toda máquina va provista de una placa de material aislante, en la que están dispuestos un número determinado de tornillos o elementos de fijación, donde asir las terminaciones de los diferentes circuitos de que disponga la máquina. La disposición de estos tornillos o bornas debe tener una disposición normalizada, para que todos podamos entenderla.

La disposición normalizada es:

ANTIGUA	CIRCUITO AL QUE CORRESPONDE
A-B	BOBINADO INDUCIDO
C-D	BOBINADO INDUCTOR SHUNT
E-F	BOBINADO INDUCTOR SERIE
G-H	BOBINADO INDUCTOR DE CONMUTACIÓN
J-K	BOBINADO INDUCTOR INDEPENDIENTE

Figura 4.5. Placa de bornas de una máquina de c.c.



4.5. Bobinado inducido

Como ya hemos mencionado en el apartado 4.1, el núcleo rotórico, está constituido por un paquete de chapas magnéticas, troqueladas adecuadamente para dar cabida al circuito inducido. Este circuito como ya sabemos está sometido a un campo magnético, pero debido a que el rotor gira, el campo magnético es variable, condición por otra parte imprescindible para generar una f.e.m., y por tanto ésta será alterna.

Para solucionar este problema y obtener una corriente muy parecida a la que produce una pila, que tenga positivo y negativo, se conecta el devanado inducido a un colector de delgas, como el que representa la figura 4.6.

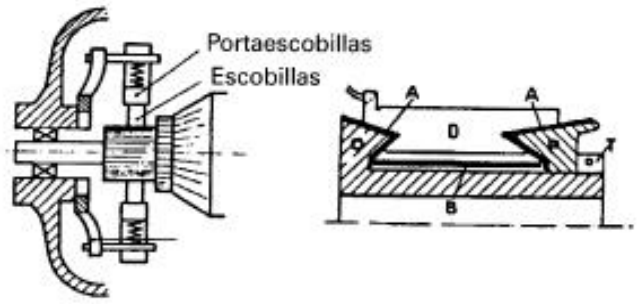


Figura 4.6. Detalle del colector con escobilla y portaescobilla.

El colector está constituido por un determinado número de placas de cobre, llamadas delgas (D), aisladas entre sí por láminas de mica. El conjunto queda sujeto por dos piezas de acero, el cuerpo de colector (O) y el plato de presión (P), todo ello sujeto por la tuerca (T). Las delgas van aislada respecto al eje adecuadamente.

La fuerza electromotriz generada en un bobinado inducido, sólo depende del número de hilos activos (hilos exteriores y paralelos al eje de rotación de las bobinas). En función de la forma de unir los hilos activos, los bobinados serán en anillo o tambor.

Los bobinados en anillo no se utilizan por su dificultad de construcción y mal aprovechamiento del cobre.

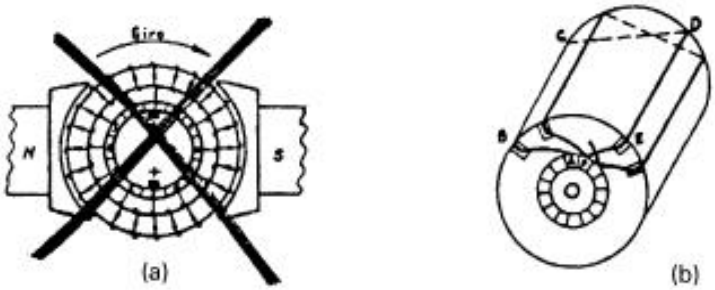


Figura 4.7. Bobinados en anillo a) y en tambor b).

El bobinado en tambor es el más utilizado debido a las siguientes ventajas:

- Cada bobina presenta dos haces activos.
- Gran aprovechamiento del cobre.
- Menor resistencia óhmica.
- Menores pérdidas por calor y mayor rendimiento.

Teniendo en cuenta lo anterior, sólo nos ocuparemos en adelante de los bobinados en tambor.

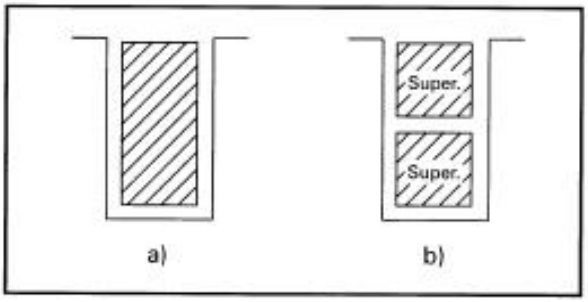


Figura 4.8. Ranuras de una capa a) y dos b)

4.5.1. Bobinados de una y dos capas por ranura

Los bobinados en tambor pueden ser de una o dos capas por ranura, según que en una misma ranura haya uno o dos lados activos de bobinas distintas.

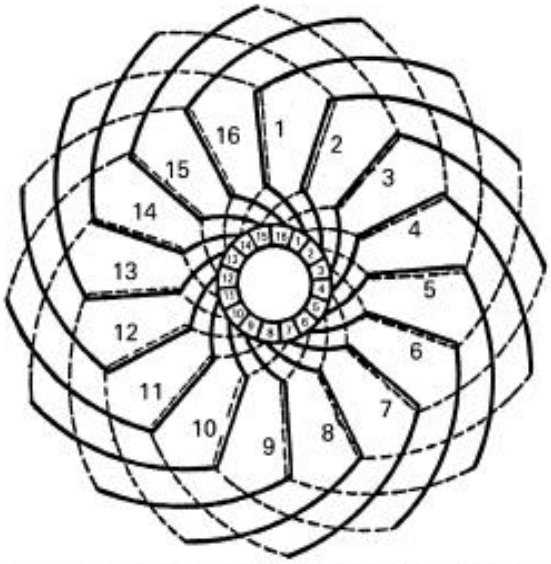
En los bobinados de dos capas, a la del fondo se le llama inferior, baja o interior y a la que se encuentra junto al entrehierro, capa superior, alta o exterior. Las bobinas tienen uno de sus dos lados activos en la capa superior y otro en la inferior, por consiguiente todas son iguales en tamaño y tienen igual autoinducción, lo que favorece el buen funcionamiento de la máquina.

Las máquinas de c.c. (dínamos y motores), se bobinan en dos capas.

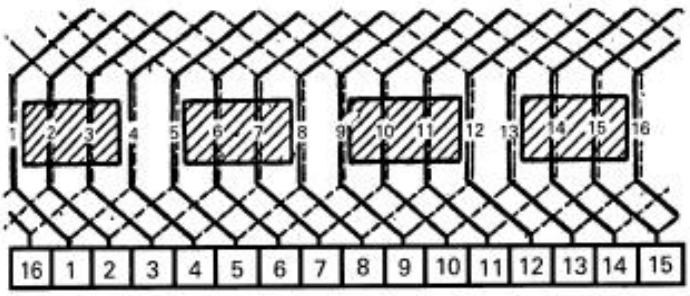
4.5.2. Bobinados cerrados

Son aquéllos en los cuales el conjunto de las bobinas forman uno o más circuitos cerrados. Es el bobinado típico de las máquinas de c.c., en las que para su funcionamiento se precisa colocar un colector de delgas, sobre las que froten las escobillas.

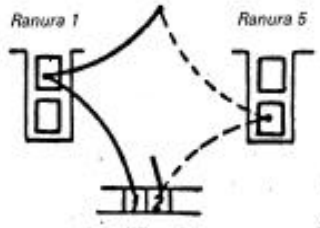
La representación de los esquemas de conexiones puede hacerse en forma circular **a)**, rectangular **b)** y simplificada **c)**, de la figura 4.9.



a) Representación circular del esquema de bobinado de una dinamo tetrapolar de 16 ranuras



b) Representación rectangular del esquema del bobinado de una dinamo tetrapolar de 16 ranuras



c) Esquema simplificado correspondiente a la dinamo tetrapolar de 16 ranuras

Figura 4.9. Distintos tipos de esquemas para representar los bobinados inducidos.

La representación simplificada se usa en la práctica, con objeto de hacerlo rápido, puesto que para la realización es suficiente con conocer; el número de espiras de cada bobina, el número de bobinas y la disposición de las mismas, dato éste que queda representado en el esquema simplificado.

4.5.3. Condiciones que han de cumplir los bobinados inducidos de corriente continua

Se construyen en tambor y por lo general de dos capas, debiéndose cumplir las siguientes condiciones:

- Serán cerrados.
- Las f.e.ms., generadas en los diferentes circuitos paralelos, serán iguales.
- Las resistencias óhmicas de los diferentes circuitos paralelos han de ser iguales.

Por tanto, las bobinas serán exactamente iguales en longitud y número de espiras, para poder cumplir los apartados 2 y 3.

4.5.3.1. Número de bobinas

En los bobinados de dos capas, el número de bobinas es igual al de ranuras, **(B=K)**.

4.5.3.2. Secciones inducidas

Las secciones inducidas pueden estar formadas por una sola espira, o varias en serie, pero únicamente dispone de dos extremos libres. Así una bobina que tenga dos extremos libres, tendrá una sección inducida, si tiene cuatro extremos, tendrá dos secciones, si tiene seis extremos, tendrá tres secciones, etc.

El número de secciones inducidas de un bobinado será, **(S=B.U)** donde:

S es el número de secciones inducidas del bobinado.

B es el número de bobinas del bobinado.

U es el número de secciones inducidas por bobina.

4.5.3.3. Número de delgas

A cada sección inducida corresponde un principio y un final, pero como a cada delga del colector se conecta a un principio y un final, se puede decir que el número de delgas es igual al de secciones inducidas. **(D=S)**

4.5.3.4. Paso de ranuras

Es el número de ranuras que debe avanzar el otro lado activo de la bobina para introducirla en la ranura, se le designa paso Y_K .

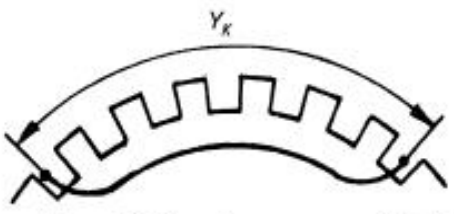


Figura 4.10. Paso de ranura en un inducido.

$$Y_K = Y_p \Rightarrow Y_p = \frac{K}{2_p}$$

El paso de ranura sólo se alargará o acortará, teniendo en cuenta los siguientes puntos:

a) En máquinas con polos auxiliares sólo se podrá acortar o alargar en caso de que el paso polar sea fraccionario, para

hacerlo entero, siendo en todo caso el valor aumentado o disminuido menor de la unidad.

b) Máquinas sin polos auxiliares, se podrán alargar en un valor superior al indicado en el punto a).

4.5.3.5. Ancho de sección

Se denomina de esta forma, a la distancia medida en secciones inducidas entre lados activos de una misma sección.

$$Y_1 = Y_K \cdot U$$

4.5.3.6. Clases de bobinados en corriente continua

Teniendo en cuenta que estos bobinados son todos cerrados, de modo que no quedan principios ni finales libres, se harán ondulados o imbricados.

Son ondulados cuando la corriente avanza haciendo ondas de forma continua, figura 4.11 a), y son imbricados cuando la corriente avanza o retrocede en sentido espiral, figura 4.11 b).

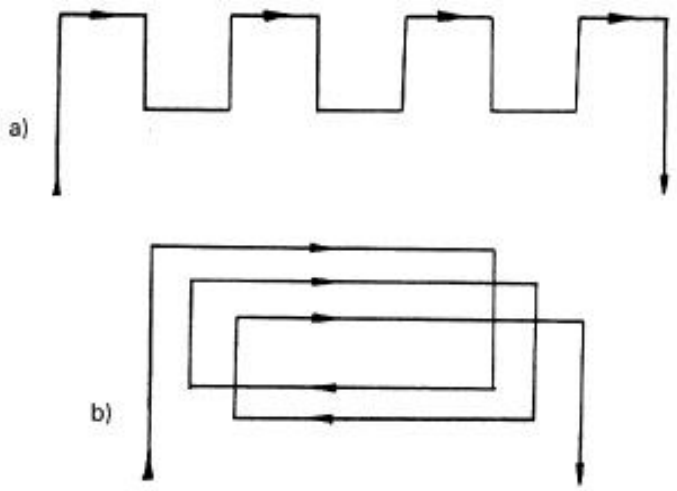


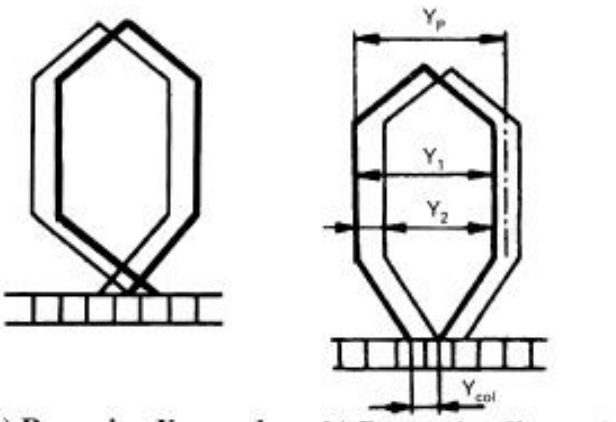
Figura 4.11. Sentido de avance de la corriente en bobinados ondulados a) e imbricados b).

4.6. Bobinados imbricados simples

Un bobinado imbricado es simple cuando las secciones directamente unidas entre sí, son consecutivas. El paso de colector en este tipo de bobinados es igual a la unidad.

El final de cada sección inducida se une al principio de la siguiente, pero este puede estar a la derecha o a la izquierda del principio de la primera sección. Según se vaya a la izquierda o a la derecha serán bobinados regresivos (cruzados), o progresivos (sin cruzar).

El que un bobinado sea progresivo o regresivo no cambia en nada las características de la máquina, tan sólo cambiaría la polaridad de las escobillas. En el caso de una máquina que tuviese un inducido progresivo, y se le cambie por regresivo, es necesario corregir el conexionado para evitar el descebado de la máquina.



a) Regresivo $Y_{col} = -1$ **b) Progresivo $Y_{col} = +1$**

Figura 4.12. Bobinado cruzado a), sin cruzar b).

En la práctica se usan casi exclusivamente los bobinados progresivos, por ello en lo sucesivo sólo nos ocuparemos de este tipo.

4.6.1. Conexiones equipotenciales

Todo inducido que contiene circuitos paralelos, ha de generar f.e.ms., exactamente iguales en cada una de las ramas y para que eso ocurra, el número de ranuras ha de ser múltiplo del de pares de polos (p), de la máquina. Pero a veces no es suficiente y las f.e.ms., no son iguales, el motivo es que el flujo es desigual en la periferia de la máquina, que puede ser debido a:

- Diferencias de entrehierro bajo distintos polos.
- Diferente reluctancia en los circuitos magnéticos.
- Diferencias en las fuerzas magnetomotrices de las bobinas polares.

Debido a estas diferencias en las f.e.ms., se crean corrientes de compensación en las escobillas, que unidas a las corrientes de carga, crea problemas de calentamiento. Para resolver este problema, se montan unos puentes de poca resistencia, llamados conexiones equipotenciales.

Las conexiones equipotenciales se colocan en las cabezas de las secciones inducidas, de una de las siguientes formas:

a) Atornilladas o soldadas en la parte interna de las delgas del colector. (En colectores grandes.)

b) Conectadas a los terminales de las secciones que van al colector.

c) La forma más corriente, es conectar las conexiones equipotenciales a las cabezas posteriores de las secciones inducidas.

4.6.1.1. Número de conexiones equipotenciales

Deben unir puntos de igual potencial de los distintos circuitos, éstos se encuentran en posición homologa bajo polos de igual signo. En la figura 4.13, puede observarse lo dicho.

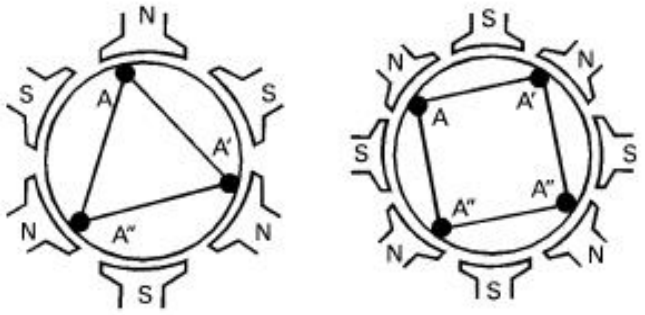


Figura 4.13. Puntos equipotenciales de un bobinado.

Sólo se pueden unir mediante conexiones equipotenciales tantos puntos como pares de polos "p".

Con la práctica se ha demostrado que no es necesario unir todas las secciones inducidas del bobinado, basta con tomar un solo punto de conexión por ranura. Por tanto, el número de bobinas equipotenciales de un bobinado, será igual al número de ranuras, es decir: $B_{eq} = K$

4.6.1.2. Paso de bobina equipotencial

La bobina equipotencial debe reunir dos puntos situados a una distancia igual a la que corresponde a un par de polos. Así el paso de bobina equipotencial, medido en ranuras será:

$$Y_{eq} = \frac{K}{p}$$

4.6.2. Cálculo de esquemas para los bobinados imbricados simples

Para realizar estos cálculos son necesarios los siguientes datos:

- Número de ranuras (K).
- Número de polos (2p).
- Número de secciones por bobina (U).
- Indicación de progresivo o regresivo.
- Si es de una o dos capas.
- Si hay conexiones equipotenciales de 1ª o 2ª clase.

Conocidos los datos anteriores se procede al cálculo en el siguiente orden:

4.6.2.1. Posibilidad de ejecución

Sólo si este resultado es entero, sera posible realizar el bobinado; $K/p = n^o$, entero.

4.6.2.2. Paso de ranuras

Este paso se podrá acortar o alargar según que la máquina tenga o no polos auxiliares de forma que:

a) Máquinas con polos auxiliares; en este caso se puede acortar o alargar cuando el paso polar es fraccionario en un valor fraccionario para hacer el paso de ranura entero.

b) Máquinas sin polos auxiliares; en este caso se puede alargar o acortar en valor superior a la unidad.

$$Y_K \equiv Y_p = \frac{K}{2p}$$

4.6.2.3. Número de delgas del colector

Teniendo en cuenta que en la práctica estos bobinados suelen hacerse de dos capas y por tanto B=K.

$$D = S = B \cdot U = K \cdot U$$

4.6.2.4. Paso de colector

Es el número de delgas que hay que saltar para conectar la siguiente sección inducida.

$$Y_{col} = \pm 1$$

4.6.2.5. Ancho de sección

Es la distancia medida en secciones inducidas, entre los lados activos de una misma sección.

$$Y_1 = Y_K \cdot U$$

4.6.2.6. Paso de conexión

Es la distancia en secciones inducidas que hay que retroceder para encontrar el principio de la sección siguiente.

$$Y_2 = Y_1 - Y_{col}$$

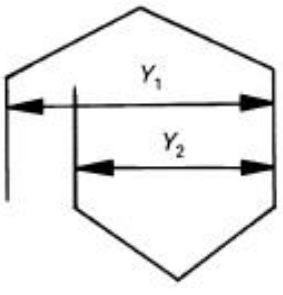


Figura 4.14. Esquema de paso de conexión y ancho de sección.

4.6.2.7. Paso de escobillas

Es una forma de hallar dónde estarán las líneas neutras del inducido.

$$Y_{esc.} = \frac{D}{2p}$$

Ejemplo: Un bobinado con 24 delgas en el colector y cuatro polos. ¿Qué paso de escobillas tendrá?

$$Y_{esc.} = \frac{D}{2_p} = \frac{24}{4} = 6$$

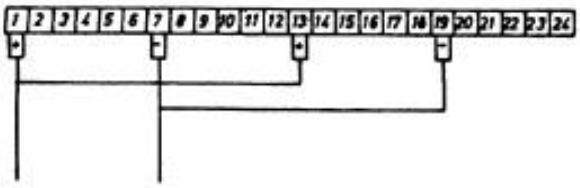


Figura 4.15. Disposición de las escobillas del ejemplo.

4.7. Ejemplos resueltos de bobinados imbricados simples

4.7.1. Calcular y dibujar el esquema del bobinado cuyos datos son: K=16, 2p=4, U=1, B=K, imbricado progresivo.

CÁLCULOS A REALIZAR:

$\frac{K}{p} = \frac{16}{2} = 8$ Por tanto, es realizable.

$Y_K = \frac{K}{2_p} = \frac{16}{4} = 4 = Y_p$ Paso de bobina, por tanto (1-5)

$Y_{col} = +1 \qquad D = S = B \cdot U = 16 \cdot 1 = 16$

$Y_1 = Y_K \cdot U = 4 \cdot 1 = 4$

$Y_2 = Y_1 - Y_{col} = 4 - 1 = 3 \qquad Y_{esc} = \frac{D}{2_p} = \frac{16}{4} = 4$

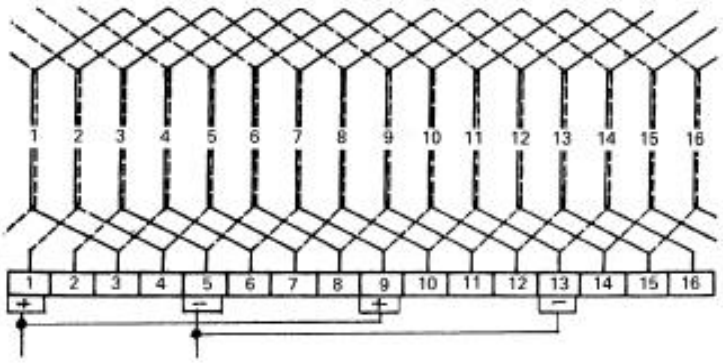


Figura 4.16. Esquema del ejemplo 4.7.1

4.7.2. Calcular y dibujar el esquema del bobinado cuyos datos son: K=16, 2p=4, U=2, B=K, imbricado progresivo.

CÁLCULOS A REALIZAR:

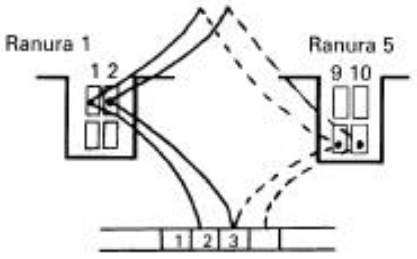
$\frac{K}{p} = \frac{16}{2} = 8$ Por tanto, es realizable.

$Y_K = \frac{K}{2_p} = \frac{16}{4} = 4 = Yp$ Paso de bobina por tanto (1-5)

$Y_{col} = +1 \quad D = S = B \cdot U = 16 \cdot 2 = 32$

$Y_1 = Y_K \cdot U = 4 \cdot 2 = 8$

$Y_2 = Y_1 - Y_{col} = 8 - 1 = 7 \qquad Y_{esc} = \frac{D}{2p} = \frac{32}{4} = 8$



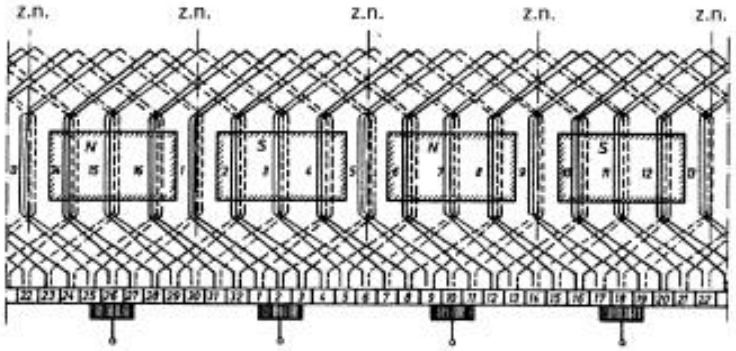


Figura 4.17. Esquema simplificado y rectangular del ejemplo 4.7.2

4.7.3. Calcular el bobinado imbricado simple y dibujar su esquema, para una dínamo de 2p=6 y K=24, K=B, U=1, progresivo. Poner conexiones equipotenciales.

Posibilidad de ejecución: $\frac{K}{p} = \frac{24}{3} = 8$, es posible.

Se hará progresivo: $Y_{col} = +1$

Paso polar: $Y_p = \frac{K}{2_p} = \frac{24}{6} = 4$, tomaremos $Y_K = 4$

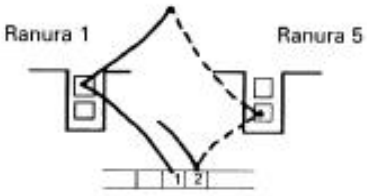
Ancho de sección: $Y_1 = Y_K \cdot U = 4 \text{ x } 1 = 4$

Paso de conexión: $Y_2 = Y_K - Y_{col} = 4 - 1 = 3$

Paso de escobillas: $Y_{esc} = \frac{D}{2_p} = \frac{24}{6} = 4$

Número de bobinas equipotenciales: $B_{eq} = K = 24$

Paso de bobina equipotencial: $Y_{eq} = \frac{K}{p} = 24 = 8$ secciones.



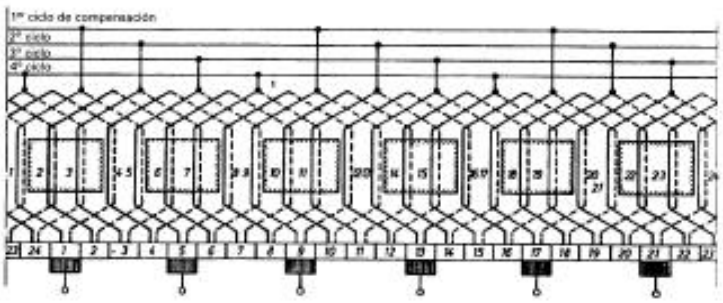


Figura 4.18. Esquema simplificado y rectangular del bobinado del ejemplo 4.7.3.

NOTA. Al observar el esquema rectangular, nos damos cuenta de que sólo se han puesto 12, de las 24 bobinas equipotenciales que correspondería poner, pero como ya comentamos, de esta forma también quedan todas las delgas compensadas.

4.8. Bobinados imbricados múltiples

Para que una máquina de c.c., funcione correctamente, es preciso que la intensidad por rama del bobinado no exceda de 400 a 500 amperios. Las máquinas de gran potencia con tensiones reducidas y elevada intensidad, obligan a hacer bobinados imbricados múltiples para cumplir esta condición.

La diferencia física fundamental entre un bobinado simple y uno múltiple radica en que; en el simple se recorren todas sus secciones inducidas al dar una vuelta al bobinado, para hacerlo en el múltiple, es necesario dar más de una vuelta.

Los bobinados múltiples se denominan en función del número de vueltas que es necesario dar a la armadura para recorrer todas sus secciones, así serán dobles para dos vueltas, triples para tres, etc.

Prácticamente el único bobinado empleado, es el doble, por ello será el que estudiemos.

4.8.1. Bobinados imbricados dobles

Para que el reparto sea simétrico, en cada una de las vueltas se recorre la mitad de las secciones inducidas, o sea después de recorrer la sección 1, se pasa a la 3 y del final de ésta al principio de la 5, así sucesivamente, de forma que en la primera vuelta se cubren las secciones impares y en la segunda las pares.

En un bobinado imbricado doble, el paso resultante es igual a dos unidades. $Y = Y_1 - Y_2 = 2$

También vale dos, el paso de colector. $Y_{col} = +2$

Estos bobinados, son siempre progresivos o sin cruzar.

Número de ramas en paralelo, en bobinado imbricado simple es igual al número de polos, 2a=2p. El imbricado doble está formado en realidad por dos simples, luego: 2a=4p.

Ejemplo: Una dínamo exapolar, tendrá 12 ranuras en paralelo.

4.8.1.1. Escobillas

Como ya sabemos el número de líneas neutras sólo depende de los polos que tenga la máquina. Así en un bobinado imbricado doble, el número de líneas de escobillas será igual al número de polos, (como en los bobinados simples).

Las escobillas han de tener un ancho suficiente para cubrir al menos dos delgas del colector, a fin de que recojan la corriente de los dos bobinados independientes.

4.8.1.2. Conexiones equipotenciales

Además de las conexiones equipotenciales de 1ª clase, que ya conocemos y que habrá que poner en un número igual al de ranuras de la máquina, o lo que es igual, como si se tratara de un bobinado imbricado simple. Es necesario poner conexiones equipotenciales de segunda clase, que unan entre sí, a los dos bobinados independientes.

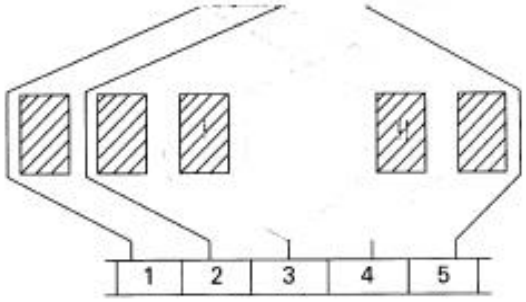


Figura 4.19. Conexiones equipotenciales de 2ª clase.

Las conexiones de 2ª clase, tienen como misión compensar diferencias de f.e.m., entre las ramas paralelas de los bobinados independientes y evitar que atraviesen las escobillas, fuertes corrientes de compensación.

La falta de conexiones de 2ª clase, podría dar lugar a caídas de tensión de diferente valor, en las distintas ramas.

Para colocar conexiones de 2ª clase es necesario que el número de secciones inducidas por bobina sea número impar. Esta condición tiene por objeto que las dos secciones inducidas conectadas pertenezcan a la misma ranura. De no ser así, ocurre lo que en la figura 4.19, donde vemos que los dientes I y II están comprendidos dentro del circuito de línea de color. Este circuito cerrado induce un flujo suplementario en los dientes citados, que da lugar a pérdidas adicionales. Pero creo que la mejor forma de entender este proceso es resolviendo ejemplos.

4.9. Ejemplos resueltos de bobinados imbricados dobles

4.9.1. Calcular bobinado imbricado doble y dibujar esquema correspondiente a una dínamo tetrapolar, cuya armadura dispone de 26 ranuras, sabiendo que cada bobina tiene dos secciones inducidas.

CÁLCULOS A REALIZAR:

- El bobinado tendrá 26 bobinas
- Secciones inducidas: $S = D = K \cdot U = 26 \cdot 2 = 52$
- Número de ramas en paralelo: $2a = 4p = 4.2 = 8$

Su ejecución será correcta, ya que cumple las dos condiciones siguientes:

1- El número de ranuras es múltiplo del de pares de polos.

2- El número de secciones por bobina ha de ser par, y así es: U = 2.

- Paso polar: $Y_p = \frac{K}{2_p} = \frac{26}{4} = 6{,}5$
- Paso de bobinas o de ranuras: Tomaremos un paso acortado $Y_K = 6 \cdot Y$ por tanto $Y_1 = Y_K \cdot U = 6 \cdot 2 = 12$

- Las bobinas equipotenciales de 1ª clase serán:

$$B_{eq} = K = 26$$

- Paso de bobinas equipotenciales:

$$Y_{eq} = \frac{K}{p} = \frac{26}{2} = 13$$

- Conexiones equipotenciales de 2ª clase: Pondremos una por bobina uniendo las dos secciones que la forman.

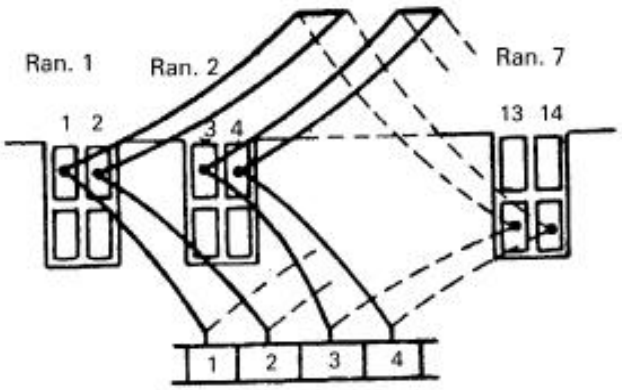


Figura 4.20. Esquema simplificado.

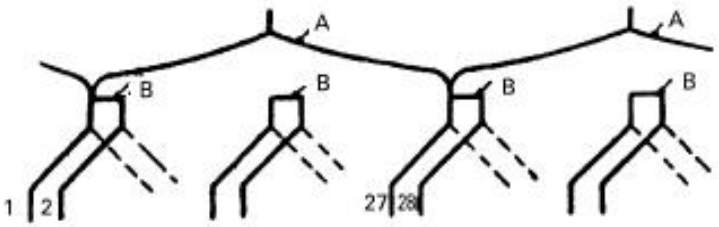


Figura 4.21. Esquema simplificado de conexiones equipotenciales de 1ª clase A) y 2ª clase B).

4.10. Bobinados ondulados serie

Un bobinado es ondulado cuando al recorrerlo se avanza tanto por la cara anterior como por la posterior.

El paso de colector, resulta ser la suma de los pasos parciales. $Y_{col} = Y_1 + Y_2$

En este tipo de bobinados, después de recorrer un número de secciones inducidas igual al número de pares de polos, se completa una vuelta de la periferia de la armadura.

Para dar continuidad al bobinado es preciso que al completar la primera vuelta no se vaya a la delga número uno, de la que se partió, sino, a su inmediata anterior o posterior, como se observa en la figura 4.23.

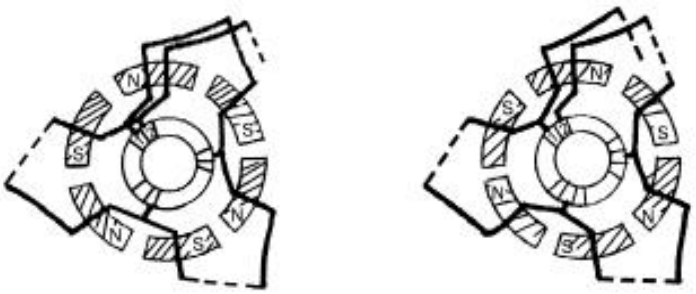


Figura 4.23. Esquema simplificado de los bobinados ondulados simples, a) cruzado, b)sin cruzar.

Un bobinado ondulado es simple o en serie, cuando al completar la primera vuelta alrededor de la periferia del inducido se va a la delga 2, inmediata a la 1, de la que se partió. En consecuencia, los haces activos y delgas recorridos en la segunda vuelta están situados junto a los haces activos y delgas recorridos en la primera vuelta. El cierre del bobinado se hará en la delga uno después de dar una serie de vueltas a la armadura.

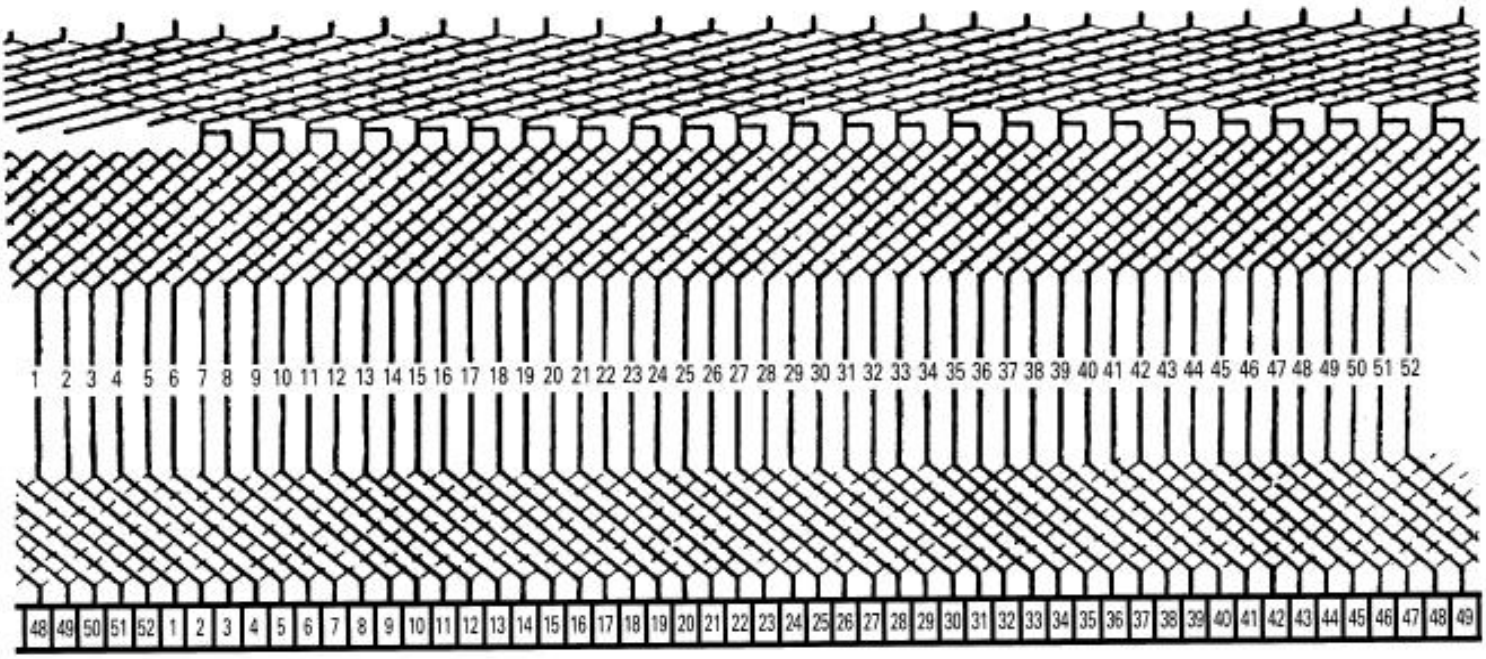


Figura 4.22. Esquema rectangular completo del bobinado imbricado doble de 26 ranuras y 52 delgas.

Los bobinados ondulados pueden ser cruzados o sin cruzar, igual que ocurría con los imbricados. Son cruzados, figura 4.23 a), cuando después de haber completado una vuelta alrededor del inducido se pasa a la sección inducida inmediata posterior a la primera, también se les llama bobinados progresivos. Son regresivos o sin cruzar, figura 4.23 b), cuando después de haber completado una vuelta alrededor del inducido, se pasa a la sección inmediata anterior a la última recorrida.

Cuando se han recorrido tantas secciones como pares de polos tiene la máquina, habremos recorrido todas las delgas del colector, ± 1.

Bobinados ondulados progresivos: $p \cdot Y_{col} = D + 1$

Bobinados ondulados regresivos: $p \cdot Y_{col} = D - 1$

Las dos expresiones anteriores, también pueden expresarse en una sola: $p \cdot Y_{col} = D \pm 1$. Si de ella despejamos el paso de colector en secciones inducidas, nos queda:

$$Y_{col} = \frac{D \pm 1}{p}$$

En la fórmula se toma (+1), cuando el bobinado es progresivo y (-1), cuando es regresivo.

4.10.1. Número de ramas paralelas

En los bobinados ondulados simples en serie, sólo hay dos ramas paralelas. En consecuencia resultan iguales las f.e.ms., generadas en ambas ramas, luego no es necesario poner conexiones equipotenciales.

4.10.2. Número de escobillas

Recordemos en primer lugar, que en una máquina de c.c., existen tantas líneas neutras, como polos tiene la máquina. Como en los bobinados imbricados, también en los ondulados pueden colocarse tantas líneas de escobillas como de polos tiene la máquina. Pero en los bobinados ondulados es suficiente con poner dos líneas de escobillas, una de cada signo. Estas dos líneas tendrán que ponerse sobre radios que formen un ángulo, cuyo valor en grados es:

$$\alpha_{escb} = \frac{360}{2p}$$

La distancia en número de delgas, entre las líneas de escobillas será:

$$Y_{escb} = \frac{D}{2_p}$$

A pesar de lo dicho, lo normal es poner tantas líneas de escobillas como número de pares de polos tiene la máquina, por las razones siguientes:

a) Reducir la intensidad de corriente por escobilla.

b) La conmutación se hace sección por sección, evitando de esta forma, tener varías en cortocircuito.

4.10.3. Condiciones que han de cumplir los bobinados ondulados serie

Para que un bobinado resulte normal ha de cumplirse que:

- El número de ranuras "K", debe ser primo con el número de pares de polos "p" de la máquina.
- También debe ser primo "U" con el número de pares de polos.

En la siguiente tabla se indica para cada número de pares de polos "p", el número de secciones inducidas "U" que correctamente pueden disponerse para obtener un bobinado ondulado simple completo.

Nº DE POLOS	PARES DE POLOS "p"	SECCIONES POR BOBINA "U"
4	2	1,3 y 5
6	3	1,2,4 y 5
8	4	1,3 y 5
10	5	1,2,3 y 4
12	6	1 y 5
14	7	1,2,3,4 y 5

4.10.4. Empleo de una sección muerta

En ocasiones no se cumplen las condiciones anteriores, para resolverlo se recurre a suprimir una sección inducida y la delga correspondiente. Para ello se eliminan los extremos de una de las secciones inducidas de una bobina. La sección eliminada se llama sección muerta. Ello da lugar a que el número de secciones útiles sea primo con el número de polos, y en consecuencia al aplicar la fórmula:

$$Y_{col} = \frac{D \pm 1}{p}$$

"D" representa el número de delgas o número real de secciones inducidas, es decir, una unidad menor que el resultado de K.U, así pues será: $D = S = K \cdot U - 1$

Los bobinados con secciones muertas no son recomendables, por presentar grandes problemas en la conmutación.

4.11. Proceso de cálculo de los bobinados ondulados

Conocidos los datos del bobinado, se procede en el siguiente orden:

1- Se comprueba si cumple las dos condiciones siguientes:

A) Si "K" y "p", son primos entre sí.

B) También deben ser primos entre sí, "U" y "p".

Si se cumplen estas condiciones, se puede calcular el número de secciones inducidas y de delgas:

$$S = D = K \cdot U$$

Si no se cumplen las dos condiciones primeras, el número de delgas y secciones se calculará por: $S = D = K \cdot U - 1$ ya que en este caso es necesario disponer de una sección muerta.

2- Si como dato se nos da el número de delgas (D), pueden ocurrir dos cosas:

A) Que (D) sea múltiplo de K y por tanto U, será un número entero.

$$U = \frac{D}{K}$$

B) Que (D) no sea múltiplo de K y por tanto hay una sección muerta, en cuyo caso el número de secciones por bobina será:

$$U = \frac{D+1}{K}$$

3- Una vez efectuadas las anteriores comprobaciones, calcularemos los pasos del bobinado.

$$Y_p = \frac{K}{2p} \cong Y_K$$

4- El ancho de sección será: $Y_1 = Y_K \cdot U$

5-El paso de colector será:

$$Y_{col} = \frac{D \pm 1}{p}$$

6- Paso de conexión: $Y_2 = Y_{col} - Y_1$

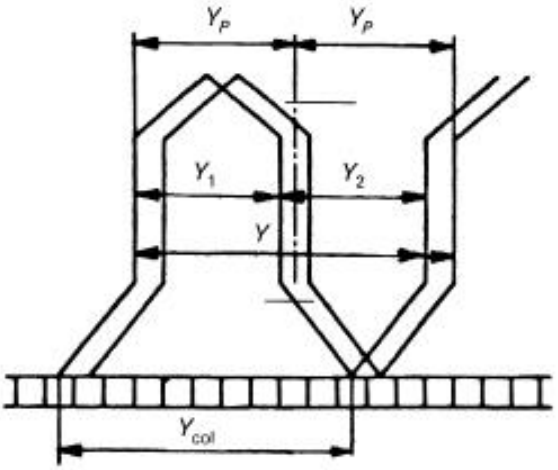


Figura 4.24. Pasos de un bobinado ondulado.

4.12. Ejemplos resueltos de bobinados ondulados serie

4.12.1. Calcular el esquema del bobinado ondulado simple, que ha de llevar un inducido de las siguientes características: K=15, B=15, U=1, 2p=4 y no cruzado.

- En primer lugar se comprueba si hay secciones muertas, en este caso, como el número de pares de polos es primo con K y U, no hay secciones muertas.
- $S = D = K \cdot U = 15 \cdot 1 = 15$ delgas
- $U = \frac{D}{K} = \frac{15}{15} = 1$ se demuestra de nuevo que no hay sección muerta.
- $Y_p = \frac{K}{2p} = \frac{15}{4} = 3{,}75$ ello demuestra que es fraccionario.

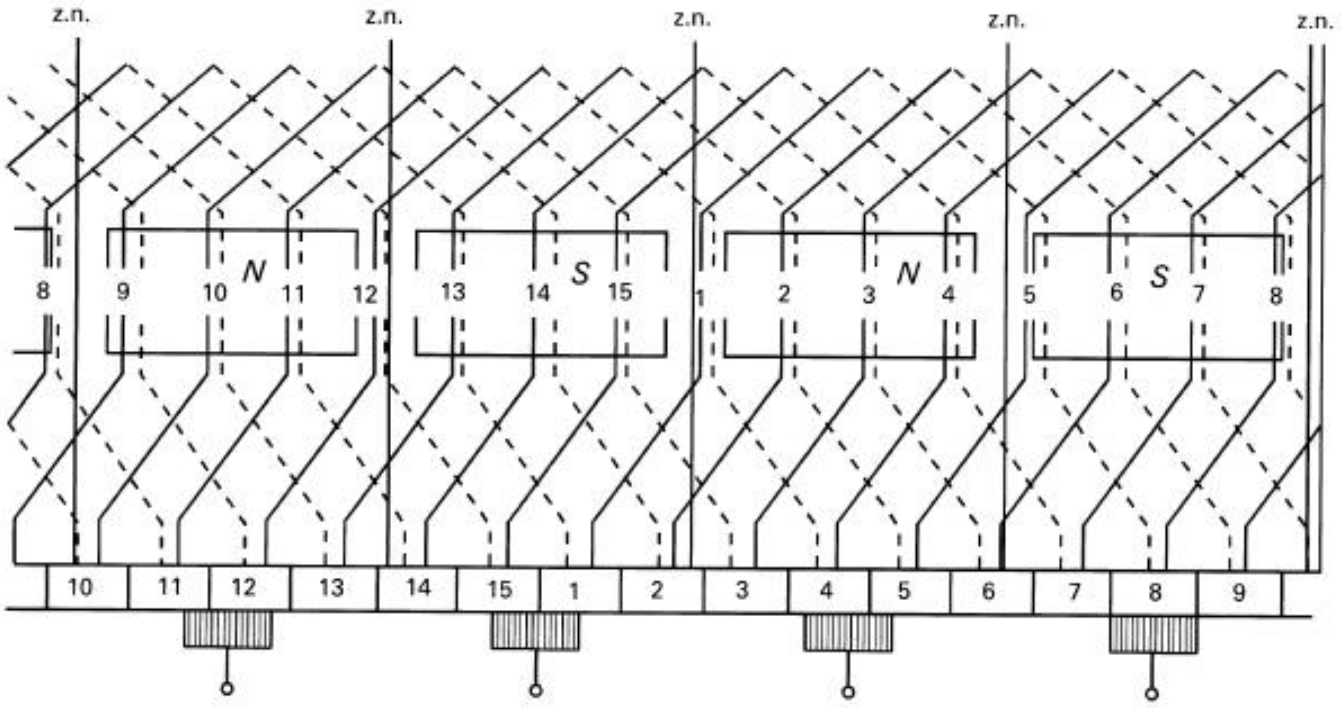


Figura 4.25. Esquema de bobinado ondulado, no cruzado y de paso alargado.

- Tomaremos como paso de ranura, $Y_K = 4$
- El ancho de sección, $Y_1 = Y_K \cdot U = 4 \cdot 1 = 4$
- Paso de colector, $Y_{col} = \frac{D \pm 1}{p} = \frac{15 - 1}{2} = 7$
- Paso de conexión, $Y_2 = Y_{col} - Y_1 = 7 - 4 = 3$
- Paso de escobillas, $Y_{esc} = \frac{D}{2_p} = \frac{15}{4} = 3{,}75$

4.12.2. Calcular y dibujar el esquema del bobinado ondulado, no cruzado, de: 2p=4, K=18, U=1.

K y p, no son primos entre sí.

U y p, si son primos entre sí. Luego hay sección muerta.

$S = D = K \cdot U - 1 = 18 \cdot 1 - 1 = 17$ delgas.

$U = \frac{D}{K} = \frac{17}{18}$ No es múltiplo, lo que demuestra que hay sección muerta.

$Y_p = \frac{K}{2_p} = \frac{18}{4} = 4{,}5 \quad - Y_K = 4$ tomamos paso acortado.

$Y_1 = Y_K \cdot U = 4 \cdot 1 = 4 \quad - Y_{col} = \frac{D \pm 1}{p} = \frac{17 - 1}{2} = 8$

$Y_2 = Y_{col} - Y_1 = 8 - 4 = 4 \quad - Y_{esc} = \frac{D}{2p} = \frac{17}{4} = 4{,}25$

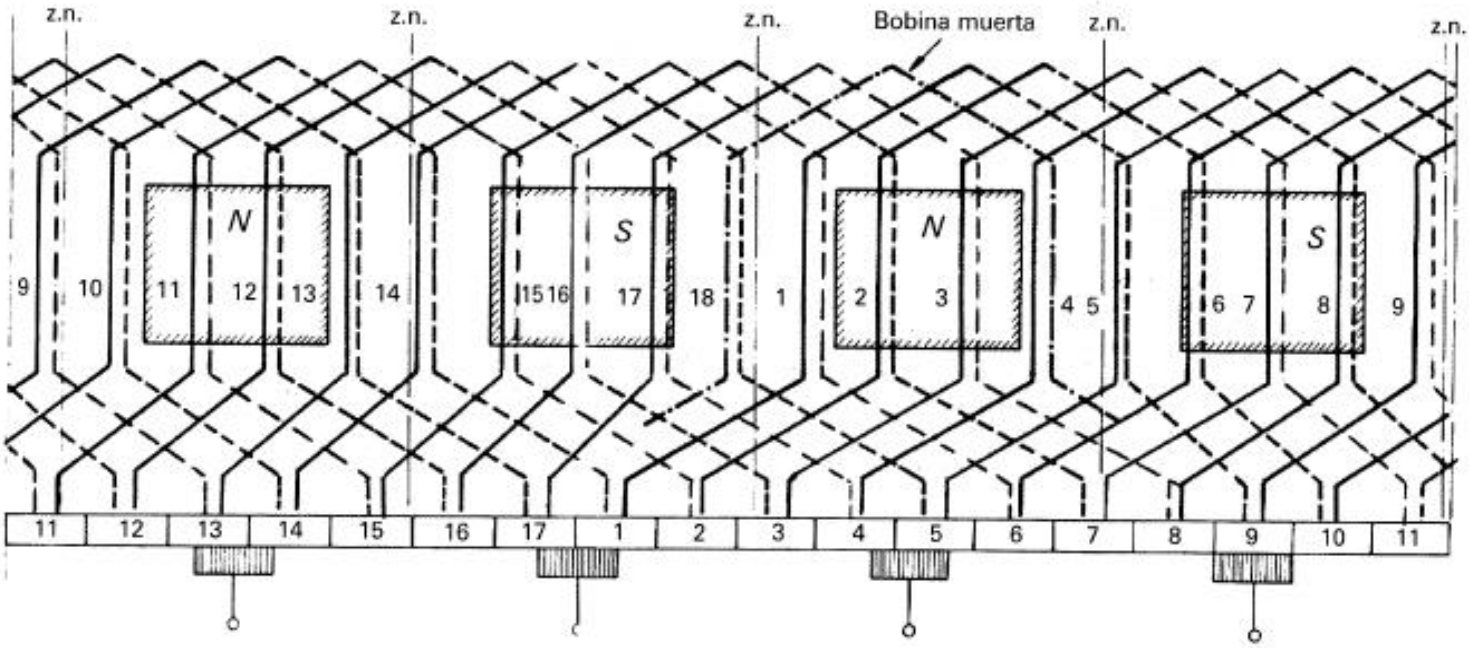


Figura 4.26. Esquema rectangular del bobinado ondulado, acortado, no cruzado, con bobina muerta.

Actividades de taller propuestas

1- Tomar nota de las indicaciones de la placa de características de una máquina de excitación compound.

2- Abrir la máquina de la que hemos tomado los datos y observar sus partes principales, tomando nota de: número de ranuras del rotor, número de delgas del colector, número de escobillas y tamaño, número de polos y tipo de bobinado del inducido.

3- Calcular y dibujar el esquema del bobinado inducido de la máquina observada, así como el conexionado de su bobinado inductor.

Autoevaluación

1- Relaciona las partes principales de una máquina de c.c.

2 -Explica la función que realiza cada una de las partes de la máquina de c.c.

3 -¿Cuáles son los posibles tipos de bobinados que puede llevar un inducido?

4 -¿Qué datos son necesarios para calcular un bobinado inducido?

5 -Explica la diferencia existente entre un bobinado inducido imbricado y un ondulado.

6 -Calcular y dibujar el esquema del bobinado imbricado necesario, para un inducido de: K = 20, 2p = 4, U = 1, no cruzado y ponerle conexiones equipotenciales de 1ª clase.

7 -Calcular y dibujar esquema para inducido, con los siguientes datos: Imbricado simple y progresivo, K = 20, 2p = 4, U = 1.

8 -Dibujar el esquema de bobinado imbricado doble, con los siguientes datos: K = 12, 2p = 4, U = 2, poner conexiones equipotenciales de 1ª y 2ª clase.

9 -Dibujar esquema de bobinado ondulado serie simple, con los datos siguientes: K = 14, 2p =6, U = 2.

10 -Calcular y dibujar esquema de bobinado ondulado serie simple con los datos siguientes: K = 17, 2p = 4, U = 2, no cruzado.

Mantenimiento y reparación de máquinas eléctricas de corriente continua

Introducción

Toda máquina que está en funcionamiento durante varias horas diarias sufre un desgaste. El desgaste se acentúa cada vez más, si los pequeños defectos que van apareciendo, no se corrigen lo antes posible. A la corrección de pequeños defectos se denomina mantenimiento.

El mantenimiento deberá realizarse de forma preventiva, para evitar en la medida de lo posible la aparición de los defectos y por tanto la avería de la máquina.

Contenido

- *Interpretación de los programas de mantenimiento de las máquinas de C.C.*
- *Útiles, aparatos y herramientas a utilizar en el mantenimiento preventivo de máquinas de C.C.*
- *Secuencia de operaciones que requiere el mantenimiento preventivo.*
- *Rebobinado de inducidos de máquinas eléctricas de C.C.*
- *Construcción de las bobinas polares.*
- *Informe del trabajo realizado.*
- *Normas de seguridad aplicable.*
- *Actividades de taller propuestas.*
- *Autoevaluación.*

Objetivos

- *Conocer el proceso a seguir en mantenimiento preventivo.*
- *Practicar la reparación de máquinas de c.c.*

5.1. Interpretación de los programas de mantenimiento de las máquinas de C.C.

El mantenimiento ha de realizarse de forma preventiva y por tanto sin necesidad de que la máquina presente ningún tipo de avería. Para ello se fijará una periodicidad de revisiones, que estará en función del número de horas de trabajo de la máquina y que podría oscilar entre 1.500 y 2.000 horas.

En cada revisión se hará un chequeo de las partes sometidas a más desgaste y por tanto más propensas a sufrir deterioros, así como una revisión del estado general de la máquina, de todo ello se tomará nota en un cuadrante, donde además se anotará si es necesario cambiar piezas y la fecha en que se hace la sustitución. Todas las fichas de revisiones serán archivadas con una referencia impresa para cada máquina, de forma que podamos en cualquier momento conocer su historial. La ficha podría contener los apartados reflejados en la figura 5.1.

LOGOTIPO EMPRESA	**REVISIONES PERIÓDICAS DE MÁQUINAS DE C.C.**
MARCA MÁQUINA: _____	FECHA: _____
TIPO: _____	SERVICIO EN: _____
Nº FABRICANTE: _____	**INDUCIDO**
POTENCIA: _____	TENSIÓN: _____ INTENSIDAD: _____ TEMP: ___
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	**INDUCTOR**
ESTATOR: _____	TENSIÓN: _____ INTENSIDAD: _____ TEMP: ___
ROTOR: _____	COJINETES: _____
ELEMENTOS A SUSTITUIR:_	FIJACIÓN: _____
_____	ESTADO ESCOBILLAS: _____
_____	ESTADO COLECTOR: _____
_____	LUGAR Y FECHA: .....
OBSERVACIONES:	Firma
	TÉCNICO: .....

Figura 5.1. Ficha resumen de revisiones, a máquinas de c.c.

5.2. Útiles, aparatos y herramientas a utilizar en el mantenimiento preventivo de máquinas de C.C.

El mantenimiento preventivo ha de hacerse en el lugar donde la máquina se encuentra instalada prestando servicio, por tanto hemos de hacerlo con el menor equipamiento posible, pero si suficiente. Para ello hemos de contar al menos con:

- Un polímetro que mida; tensión e intensidad en c.c. y resistencia óhmica.
- Medidor de temperatura.
- Tacómetro o medidor de revoluciones.
- Megóhmetro o medidor de aislamiento.
- Juego de llaves adecuadas al tipo de máquinas que hemos de verificar.
- Juego de destornilladores adecuados al tamaño de las máquinas.
- Equipo de herramientas para la reparación de conexiones eléctricas.
- Material aislante que permita reparar pequeños desperfectos.
- Equipo de engrase.

Este equipamiento, está enfocado fundamentalmente para hacer un diagnóstico de las condiciones en que se encuentra una máquina sin desmontarla, y una vez hecho éste, si el defecto se puede corregir insitu se trasladará desde el taller el material necesario, (siempre todo ello, dependiendo del tamaño y trabajo a desarrollar por la máquina). Pero si la avería es importante, se procederá a trasladar la máquina al taller, donde se dispondrá de todo lo necesario.

5.3. Secuencia de operaciones que requiere el mantenimiento preventivo

Teniendo en cuenta que tenemos tres tipos de máquinas de corriente continua, para explicar cómo realizar el mantenimiento preventivo tomaremos como referencia la máquina compound, por ser la más compleja en su constitución interna.

5.3.1. Análisis del estado general de la máquina

Este se hace de forma visual, fijándose fundamentalmente en el aspecto externo de la máquina, estado de pintura, zonas recalentadas o quemadas, estado de los conductores, conexiones a placa de bornas, etc. *Si observamos alguna anormalidad* realizaremos a continuación pruebas que confirmen o desmientan nuestras sospechas.

5.3.2. Revisión de anclajes y elementos móviles

Cuando la máquina está en funcionamiento, se escucha su sonido, su movimiento respecto a la bancada, sus vibraciones, etc. Si el sonido es malo, puede serlo por falta de grasa, por desgaste de rodamientos, términos éstos que comprobaremos posteriormente a máquina parada. Si se observa que la máquina se mueve en su anclaje, es necesario revisar el apriete del sistema de anclaje.

Con la máquina parada; tomando el eje o polea de la máquina como muestra la figura 5.2 e intentando mover hacia los lados, se observa cierto movimiento del eje respecto del cuerpo de la máquina, será necesario cambiar rodamientos.

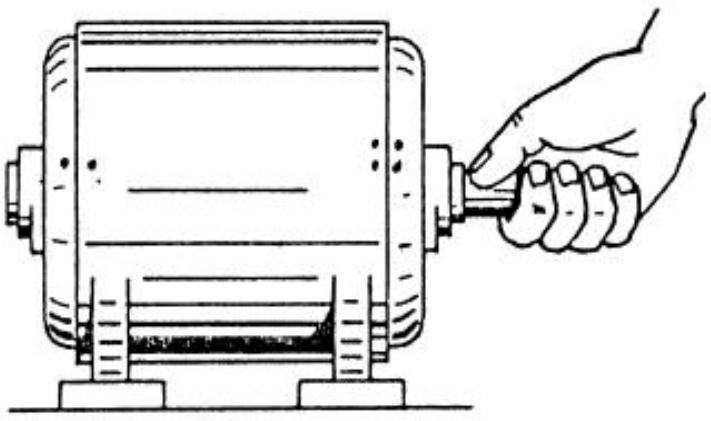


Figura 5.2. Forma de comprobar el estado de los rodamientos.

Para cambiar los rodamientos, tendremos en primer lugar que abrir la máquina, esto se hace en varios pasos:

a) Marcaremos como se observa en la figura 5.2, con el granete u hoja de sierra, carcasa y escudos con marcas diferentes, para que al montar estas piezas queden en la misma posición.

b) Con ayuda de llaves adecuadas, se retirarán los espárragos de sujeción de los escudos.

c) Golpearemos suavemente los escudos con un mazo de plástico o madera, para que estos salgan de sus alojamientos.

d) Si los escudos no salen de los rodamientos o éstos del eje, es necesario ayudarse con un extractor, como muestra la figura 5.3. Los rodamientos se retiran de los escudos, ayudándose

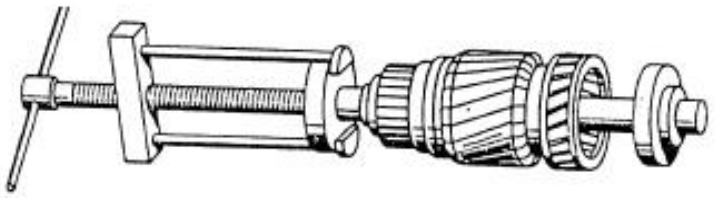


Figura 5.3. Extracción de rodamientos.

con punteros adecuados a su diámetro, como se observa en la figura 5.4.

e) Para montar se hacen las operaciones a la inversa, teniendo en cuenta que los rodamientos deben engrasarse por la parte donde están las bolas.

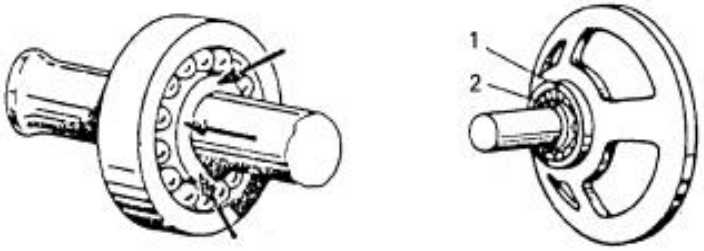


Figura 5.4. Extracción de los rodamientos de los escudos.

5.3.3. Comprobación de circuitos

La comprobación de circuitos la haremos con la ayuda de una lámpara serie o con un óhmetro, actuando de forma diferente según estemos comprobando derivaciones, cortocircuitos, bobinas abiertas.

5.3.3.1. Localización de derivaciones

Si la prueba se hace al circuito inductor, actuaremos como indica la figura 5.5, de forma que uno de los conductores del comprobador se conecta a masa, teniendo cuidado de eliminar pintura y suciedad en el punto de conexión.

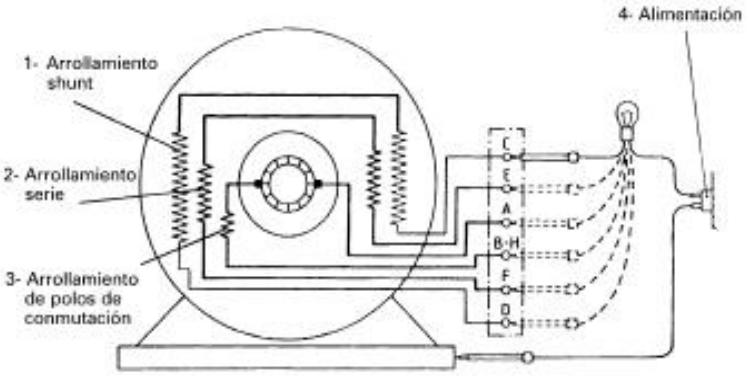


Figura 5.5. Localización con lámpara serie, de derivaciones en el bobinado inductor.

De igual forma se puede actuar con el circuito inducido, tocando en masa y en cada una de las delgas si fuese necesario, como indica la figura 5.6.

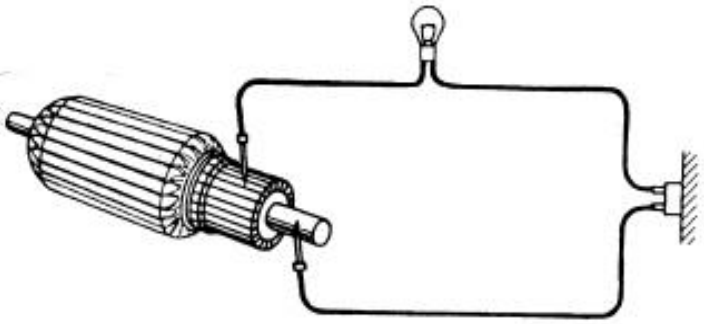


Figura 5.6. Localización de derivaciones en el circuito inducido.

En muchos casos, una simple inspección visual es suficiente para localizar los contactos a masa o derivaciones. Estas derivaciones suelen producirse en las aristas de las ranuras al doblar las bobinas o en el interior de las mismas.

Cuando se ha localizado el punto afectado por el contacto, la reparación consiste en introducir nuevo material aislante entre el núcleo y la bobina afectada. Si no puede localizarse el contacto, habrá que proceder al rebobinado completo del bobinado inducido o inductor afectado.

5.3.3.2. Localización de cortocircuitos

Este defecto suele detectarse por los siguientes síntomas:

1- Cortocircuito en el inducido, la máquina no girará, o lo hará muy lentamente. Se calienta excesivamente y huele a

quemado. Debe desconectarse la máquina lo antes posible, para evitar que se queme todo el bobinado. Desmontándose inmediatamente, puede localizarse la bobina defectuosa por diferencia de temperatura con el resto, en caso de duda debe actuarse de acuerdo con lo explicado en el apartado de rebobinado de inducidos. Los cortocircuitos entre delgas del colector presentan los mismos síntomas, en este caso, las delgas en cortocircuito se localizan rápidamente por la diferencia de color que toman al recalentarse.

2- *El cortocircuito* en el bobinado de excitación, por lo general da lugar a un aumento de la velocidad de la máquina, acompañado de chipas en el colector, incluso funcionando en vacío y por tanto un excesivo calentamiento de la máquina. La localización de cortocircuitos en el bobinado de excitación resulta relativamente sencilla, puesto que será suficiente con medir la resistencia óhmica que presenta cada bobina, estos valores deben ser prácticamente iguales para un tipo de bobinado, (serie, shunt o compound) aquella bobina que presenta menos resistencia, será la que tiene el cortocircuito. Las medidas de resistencia se harán con la máquina desconectada de red, pues de lo contrario podríamos deteriorar el óhmetro.

5.3.3.3. Localización de interrupciones

Suponiendo siempre que nos enfrentamos al caso más complicado, la máquina compound, con ayuda de una lámpara serie o un óhmetro y actuando como se indica en la figura 5.7.

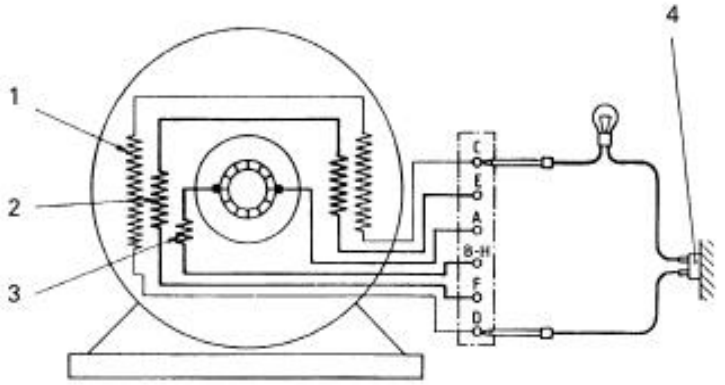


Figura 5.7. Localización de circuitos abiertos o interrupciones.

Si cada pareja de bornes que corresponde a un circuito, se le somete a prueba y la lámpara luce, indica que el circuito es correcto, no hay interrupción. En el caso de que al realizar la prueba la lámpara no luciese, indicaría que el circuito está abierto almenos por un punto, que será necesario localizar desmontando la máquina y comprobando cada bobina, figura 5.8.

Las interrupciones en el bobinado inducido pueden ser debidas a varias razones, algunas de ellas son:

- Mal contacto de escobillas.
- Soldaduras rotas o defectuosas en las delgas.
- Conductores rotos, etc.

El mal contacto de escobillas puede estar motivado por rotura de las mismas o de su soporte, (el portaescobillas) falta de presión en el muelle, mal estado, rotura del conductor de la escobilla, etc. En la mayoría de los casos se detecta por inspección visual, pero si no fuese así, puede localizarse con la lámpara o el óhmetro comprobando tramo por tramo.

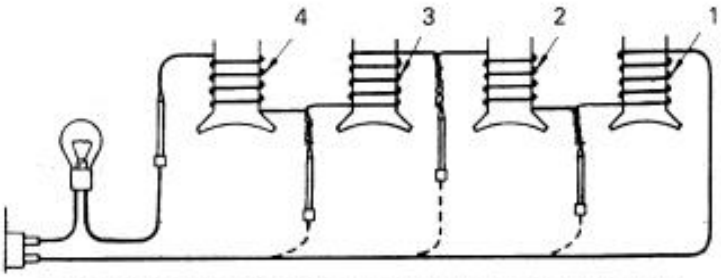


Figura 5.8. Comprobación de cada bobina de un circuito inductor.

Si a pesar de las pruebas anteriores, no hemos localizado el punto donde se halla abierto el circuito inducido, deberemos seguir el proceso expuesto en el apartado 5.4.7.3.

Una vez localizada la interrupción será necesario valorar la avería y decidir si se procede a rebobinar la bobina afectada, se puentea o se rebobina el inducido completo.

5.4. Rebobinado de inducidos de máquinas eléctricas de C.C.

El proceso completo del rebobinado de inducidos comprende una serie de operaciones que deben ejecutarse por el siguiente orden:

1- Toma de datos al extraer el arrollamiento antiguo.
2- Limpieza completa de ranuras y colector.
3- Aislamiento del núcleo, con material adecuado.
4- Confección de las bobinas sobre el propio inducido.
5- Confección y colocación de las bobinas nuevas en las ranuras correspondientes, si el tamaño aconseja hacerlas en moldes.
6- Conexión de los terminales de las bobinas a las delgas del colector.
7- Verificación eléctrica del arrollamiento.
8- Torneado del colector si es necesario.
9- Secado del bobinado en el horno, impregnación y secado definitivo.

5.4.1. Toma de datos al extraer el arrollamiento deteriorado

Siempre que se haya de rebobinar un inducido es necesario anotar previamente, los datos necesarios para que el nuevo tenga exactamente las mismas características que el antiguo.

En la figura 5.9 se reproduce un modelo de hoja de recogida de datos de las máquinas, apropiada para reunir toda la información necesaria.

En primer lugar se cuentan las ranuras del inducido y las delgas del colector, tomando nota en la tabla. A continuación se marca con un granete, la posición de una bobina cualquiera en el inducido (señalando las dos ranuras en las cuales está alojada) y la de sus terminales en el colector (señalando las dos delgas a las que van conectados). Estas marcas permiten determinar el paso de bobina y el paso de colector.

RAZÓN SOCIAL DEL PROPIETARIO: _____			
W o CV:	R.P.M.:	Tensión:	Esq. simplificado:
Intensidad:	Hz:	Tep. máx.:	
Tipo:	Código:	2p:	
K:	D:	U:	
Imbricado:	Ondulado:		
N° esp.:	Ø hilo:	Y_K:	
Conx. 1ª:	Conx. 2ª	Y_{cal}:	

Figura 5.9. Tabla de datos necesarios para el rebobinado de un inducido

Operación es importante, puesto que cualquier error en dichos pasos repercutirá posteriormente con la producción de chispas en las escobillas y con un mal funcionamiento del motor.

Si el arrollamiento es basándose en bobinas moldeadas, habrá que sacar algunas para verificar su forma y dimensiones exactas. Se determina seguidamente el número de bobinas por ranura y la clase de arrollamiento.

Luego se cuenta el número de espiras de cada bobina. Si ello resulta difícil, se secciona la bobina y se cuenta el número de extremos de hilo cortados.

En caso de grandes inducidos es conveniente conservar una bobina entera, que servirá de medida para confeccionar el molde destinado a las nuevas.

Acto seguido, se mide el diámetro del conductor por medio de un calibre o un micrómetro, y se anota la clase de aislamiento que lleva.

Tómese nota igualmente de la clase de aislamiento que llevan las ranuras.

5.4.1.1. Recomendaciones a tener en cuenta

Durante la extracción de las bobinas es necesario procurar, no tocar las chapas del núcleo ni romper las arandelas de fibra de sus extremos.

Como las cuñas han sido introducidas a presión en las ranuras, su extracción suele resultar difícil. El mejor modo de conseguirlo es colocar una hoja de sierra sobre la cuña, figura 5.10 y golpearla con un martillo hasta que sus dientes hagan presa en la cuña; seguidamente se golpea la hoja en dirección horizontal, con lo cual sus dientes penetran más en la cuña y al propio tiempo la arrastran hacia fuera de la ranura.

En grandes inducidos basados en bobinas moldeadas, la extracción del arrollamiento es relativamente más fácil. En caso de inducidos pequeños, con ranuras semicerradas, y especialmente si han sido secados en la estufa, puede ser necesario volverlos a introducir en la misma con objeto de reblandecer todo el aislamiento y el barniz. Para ello se cortarán antes de todo las conexiones que van al colector.

Una vez se han sacado todas las bobinas de las ranuras, los extremos que están unidos a las delgas es necesario retirarlos. Para ello desuéldense y si éstos se rompen dejando algún extremo en la muesca de la delga, quítese dicho extremo con auxilio de una hoja de sierra. Empleándose una hoja de sierra de espesor no superior al diámetro del hilo que se tomará para rebobinar.

Asegúrese de que todo el aislamiento ha sido extraído de las ranuras.

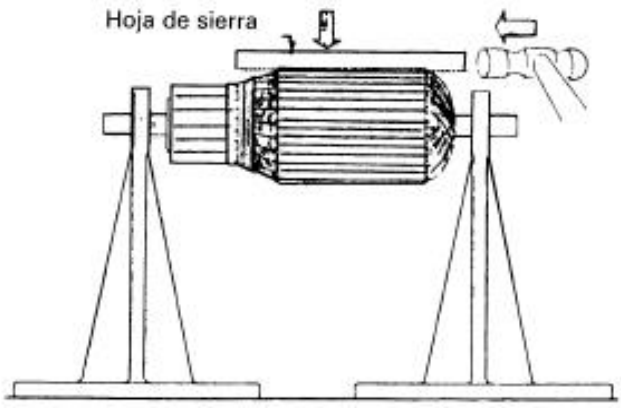


Figura 5.10. Extracción de cuñas de las ranuras.

5.4.2. Aislamiento del núcleo

Antes de rebobinar un inducido es preciso aislar las ranuras del mismo para evitar que los conductores puedan tocar las chapas del núcleo y crear así contactos a masa. Igual que en los motores de otros tipos, se utilizará también aislamiento de espesor y calidad idénticos a los del material original extraído.

Tratándose de inducidos pequeños, este aislamiento debe cortarse de modo que sobresalga 3 o 4 mm por ambos lados de las ranuras y unos 6 mm por encima de las mismas, como muestra la figura 5.11. A continuación, deben ajustarse los cartones a las ranuras con ayuda de un retacador, como indica la figura 5.11.

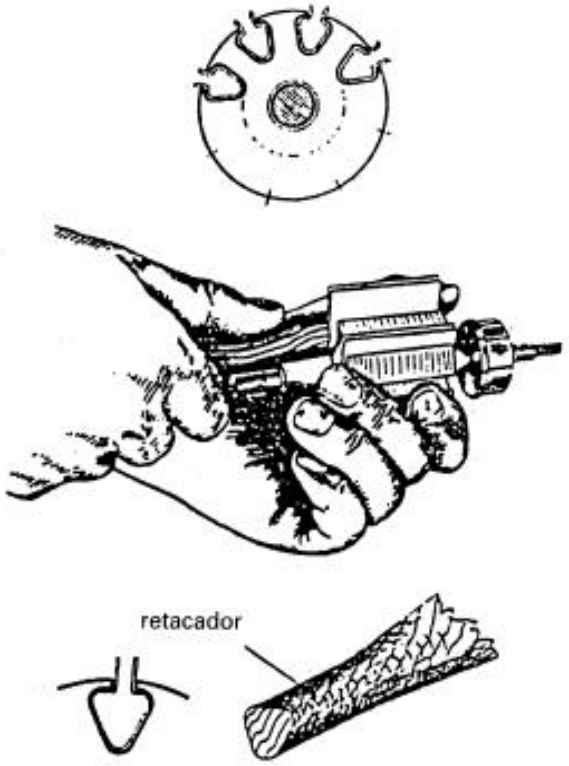


Figura 5.11. Aislamiento de ranuras, y adaptación de los cartones.

También es necesario aislar el eje del inducido, arrollando varias vueltas de cinta aislante sobre su periferia, y las dos caras frontales del núcleo, disponiendo sobre cada una un disco de fibra o papel aislante cuyo diámetro coincida con el fondo de las ranuras, figura 5.12. Muchos núcleos ya llevan placas extremas de fibra aislante, al objeto de proteger las cabezas de bobina de todo contacto a masa.

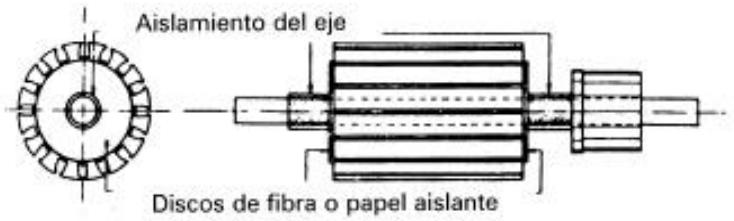


Figura 5.12. Aislamiento del eje y caras frontales.

5.4.3. Bobinado del inducido

Salvo en inducidos muy grandes las bobinas se hacen sobre el propio inducido. Para ello en inducidos pequeños, como por ejemplo los de los motores empleados en aspiradores, taladros, etc., pueden sujetarse con una mano mientras se bobinan, los de mayor tamaño se montan entre caballetes, (véase figura 5.13.)

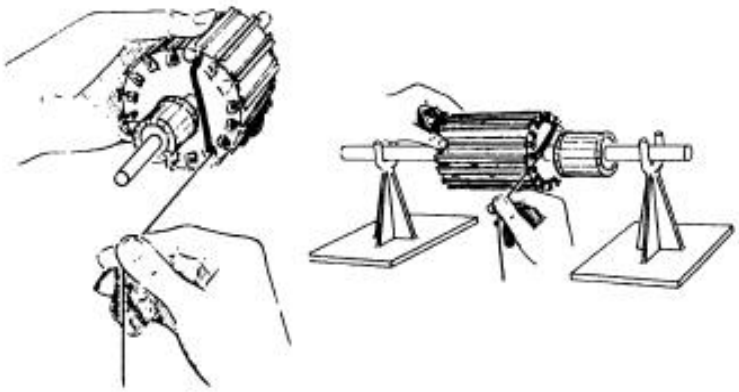


Figura 5.13.Bobinado sobre caballete.

Supóngase que se trata de rebobinar un inducido con ocho ranuras. Se elije una cualquiera de las ranuras y se designa con el número 1. A continuación se pone el número adecuado de espiras entre esta primera ranura y la que le corresponda según el paso del bobinado, ajustando bien el hilo, con objeto de conseguir espiras bien apretadas. El final de esta primera bobina se une con el principio de la segunda, de modo que se forme un bucle, cuando se termina de poner la segunda se repite el proceso, tantas veces como bobinas haya, como puede observarse en la figura 5.14., hasta haber arrollado todas las bobinas, y entonces se une el final de la última con el principio de la primera.

El arrollamiento del inducido habrá quedado concluido, y habrá dos lados de bobina en cada ranura.

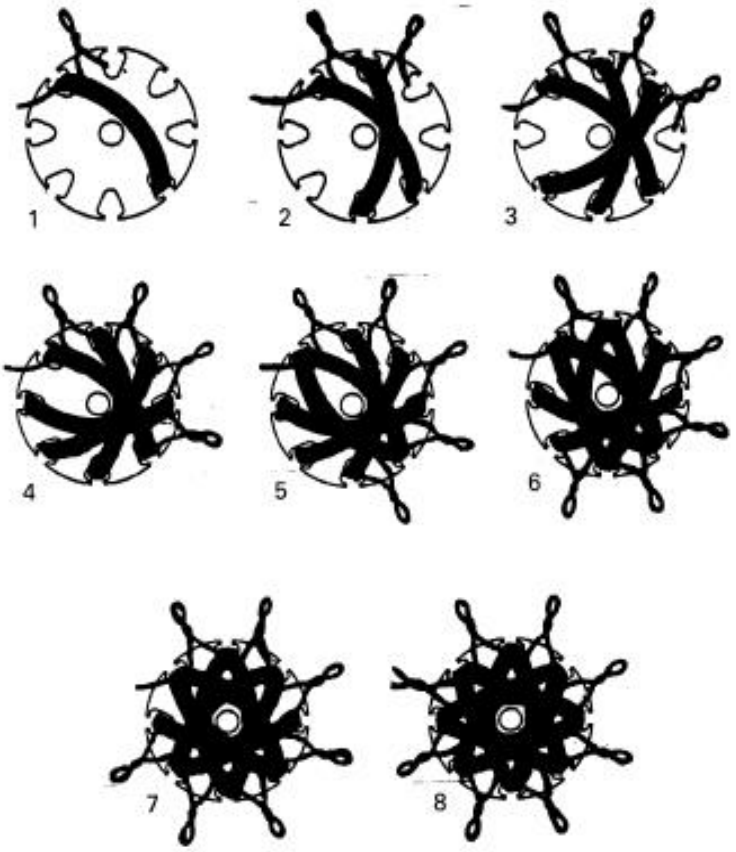


Figura 5.14. Pasos a seguir en la colocación de bobinas en un inducido.

5.4.4. Cierre de las ranuras

Es necesario cerrar las ranuras para evitar que por efecto de fuerzas centrífugas, las bobinas se salgan de las mismas. La figura 5.15, muestra los distintos pasos a seguir; 1-tamaño inicial del aislante, 2-recorte del aislante a tamaño adecuado, 3-doblado de una pestaña hacia dentro, 4-doblado de la otra pestaña, y 5-colocación de la cuña de cierre de madera o cualquier otro material, quedando como vemos en la imagen 6. Obsérvese, que entre los haces de las dos bobinas alojadas en una misma ranura, se ha interpuesto durante el proceso de bobinado, un aislante.

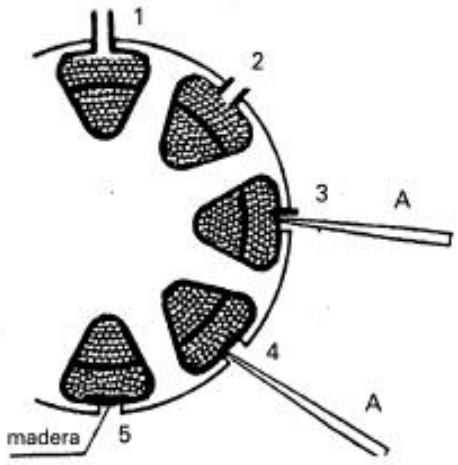


Figura 5.15. Cierre de las ranuras de un bobinado inducido.

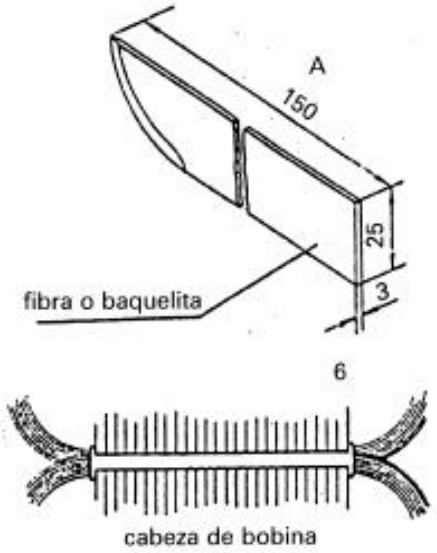


Figura 5.15. Cierre de las ranuras de un bobinado inducido (continuación).

5.4.5. Conexionado de las bobinas a las delgas del colector

Una vez rebobinado el inducido y antes de proceder a la conexión de los terminales de las bobinas a sus correspondientes delgas, es necesario rellenar con cinta el espacio comprendido entre la armadura y el colector, para apoyar los conductores, si no se hizo en el momento de aislar el eje del rotor, forrando a continuación con cartón, colocado en forma de cono. La forma de tomar las medidas para hacer el cono de cartón y su posterior trazado y corte, se reflejan en la figura 5.16.

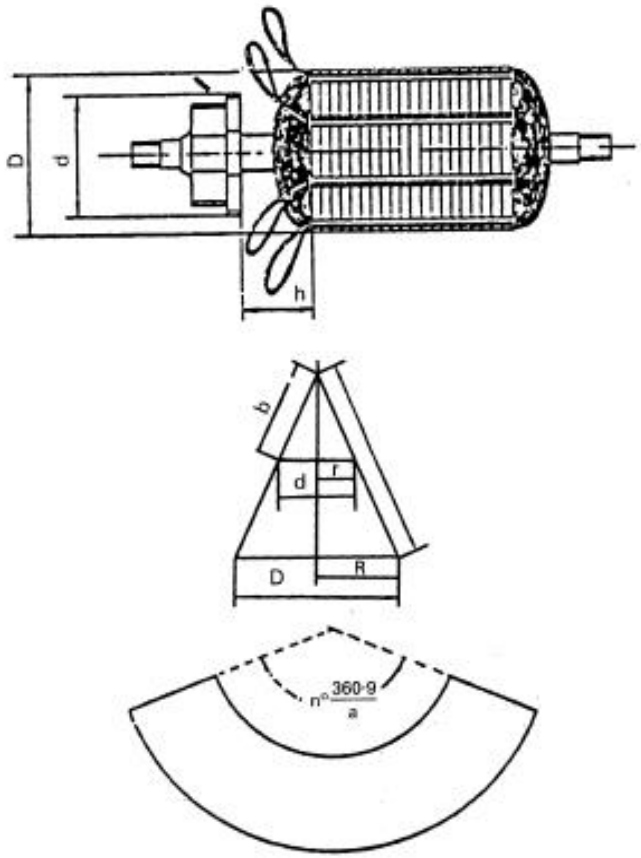


Figura 5.16. Dimensiones, trazado y corte del cartón necesario para formar el cono.

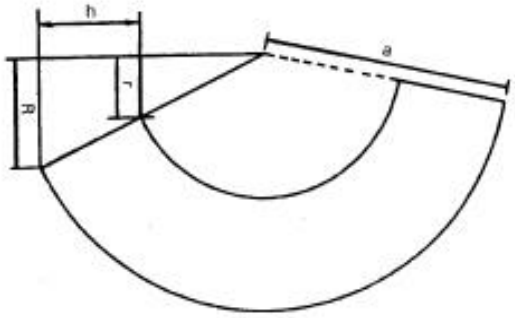


Figura 5.16. Dimensiones, trazado y corte del cartón necesario para formar el cono (continuación).

Una vez colocado el cono en el inducido, el aspecto que presentará será el de la figura 5.17.

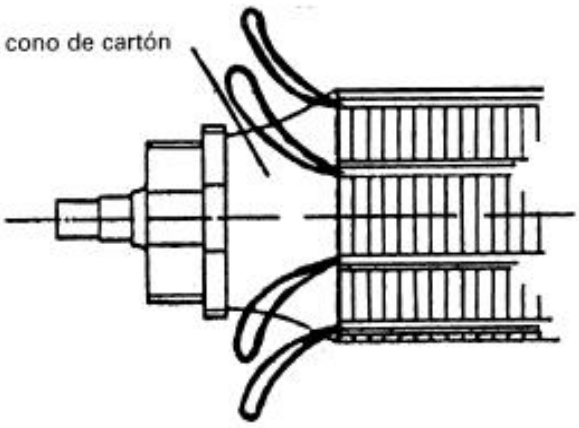


Figura 5.17. Aspecto del inducido con el cono de cartón montado.

A continuación se procede a la conexión de las bobinas a las delgas, ésta puede hacerse de tres maneras diferentes, dependiendo de la posición relativa entre la ranura desde la que procede cada terminal y la delga a la que va unido. Así, viendo el inducido por el lado del colector, cada terminal puede estar alineado con la ranura de la que procede, o bien, estar inclinado hacia derecha o izquierda, figura 5.18, un número determinado de ranuras, según ha de figurar en la hoja de datos del bobinado antiguo.

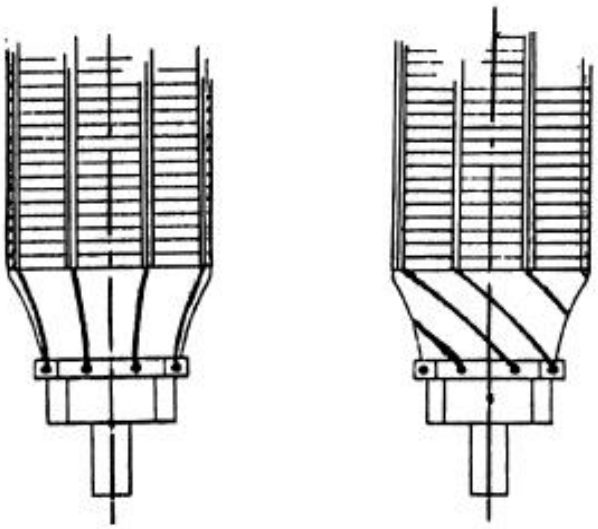


Figura 5.18. Posición relativa de los conductores, respecto al colector.

Cuando ya se ha determinado en qué delga irá cada conductor, se procede a quitar el esmalte aislante de los mismos

en el punto donde se realizará la conexión, se ajusta bien el conductor en la muesca de la delga dándole unos golpes con ayuda de una cuchilla y a continuación, se procede a la soldadura de los mismos.

Para la soldadura de inducidos pequeños, suelen utilizarse soldadores eléctricos de potencias comprendidas entre 100 y 180 W, según el tamaño del colector, poniendo siempre cuidado de no calentar, excesivamente, de forma que dañe los aislantes entre delgas. Para inducidos grandes se emplean sopletes de gas.

La soldadura se efectúa como sigue:

Se apoya la punta del soldador sobre una delga, como muestra la figura 5.19, y se espera a que el calor se haya transmitido a la zona de la delga donde debe efectuarse la soldadura, al cabo de unos segundos, se acerca el estaño al punto donde se desea efectuar la soldadura, y se espera a que el estaño fundido haya rellenado la muesca de la delga para retirar el soldador.

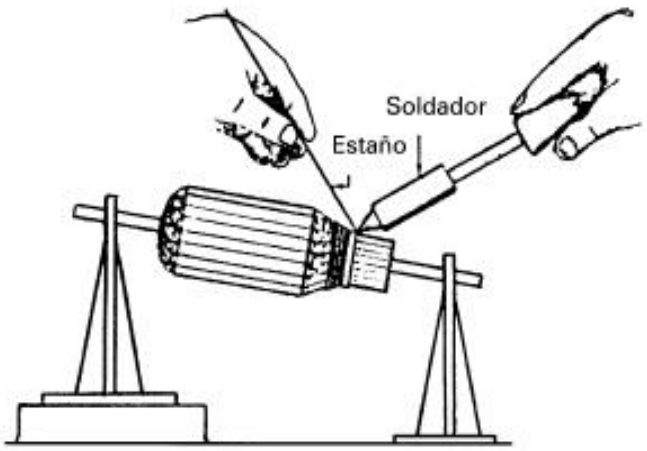


Figura 5.19. Forma correcta de colocar el inducido para soldar los conductores al colector.

El estaño líquido debe bañar ampliamente el terminal. Con objeto de impedir que pueda caer por detrás del colector y provoque cortocircuitos, se levantará el inducido por este lado; de este modo el estaño resbalará hacia delante.

5.4.6. Zunchado del inducido

El zunchado del inducido tiene por objeto inmovilizar firmemente en su sitio las conexiones que van hacia el colector y para asegurar las bobinas en las ranuras, de las cuales saldrían por efecto de la fuerza centrífuga. El zunchado de los inducidos pequeños se efectúa con una cuerda. Para inducidos grandes se prefiere un zunchado con alambre de acero o con cinta de vidrio.

5.4.6.1. Zunchado con cuerda

Se empleará una cuerda de diámetro adecuado, es decir, grueso para inducidos grandes, delgado para inducidos pequeños. Empezando por el extremo más próximo al colector y dejando debajo un bucle de cuerda, arróllense varias vueltas una al lado de otra y luego el final de la cuerda, como se indica en la figura 5.20., se pasará por el interior de éste, tirando entonces del cabo libre del extremo del bucle, éste la aprisionará y asegurará el final de la misma debajo del zunchado. Cortándose la cuerda sobrante.

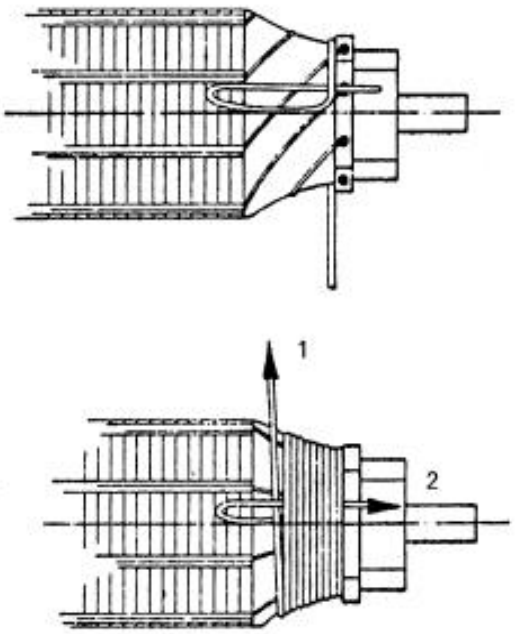


Figura 5.20. Forma de hacer el zunchado de cuerda.

5.4.6.2. Zunchado con alambre

El alambre de acero se dispone rodeando el inducido por encima de los extremos frontal y posterior de los lados de bobina. La manera de proceder difiere de la que se sigue para los de cuerda. Se empieza por fijar el inducido en un torno, figura 5.21 y por alojar tiras aislantes de mica o papel en las acanaladuras circulares existentes a tal efecto. El objeto de dicho aislamiento es impedir toda posibilidad de contacto entre el alambre de acero y los lados de la bobina. Tras haber dado una vuelta de cuerda sobre estas tiras aislantes para mantenerlas en su alojamiento, se disponen pequeñas chapas de cobre o de hojalata, distribuidas uniformemente sobre el perímetro del inducido, que servirán luego para asegurar el zunchado.

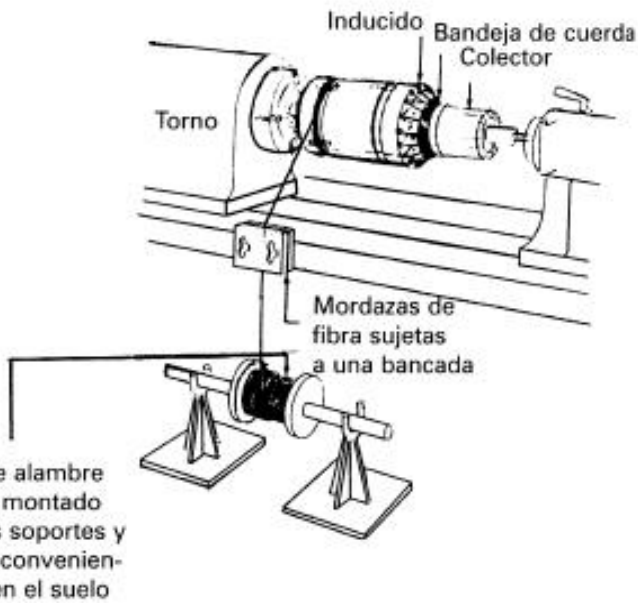


Figura 5.21. Forma de hacer el zunchado de alambre.

Para el zunchado se empleará preferentemente alambre de acero del mismo diámetro que el original. Como este alambre debe arrollarse sobre el inducido con una tensión muy superior a la que requiere un zunchado de cuerda, es necesario interponer un dispositivo tensor entre el carrete de alambre y el inducido. Este dispositivo puede estar formado por dos mordazas de fibra apretadas una contra la otra mediante dos tornillos provistos de tuerca de palomilla, que se fija sobre la bancada, de modo que quede rígidamente asegurado mientras se zuncha el inducido. El alambre se va arrollando en la acanaladura haciendo girar lentamente el inducido. Se procurará no aplicar una tensión excesiva al alambre por medio de las mordazas, pues de lo contrario se rompería. Una vez concluido el zunchado de la acanaladura, se doblan los extremos de las chapitas de cobre u hojalata sobre las espiras de alambre y se sueldan uno con otro, de modo que las espiras permanezcan sólidamente sujetas.

5.4.7. Comprobación eléctrica del inducido

Una vez concluido el rebobinado y efectuadas las conexiones de los terminales de las bobinas a las delgas del colector, es necesario comprobar eléctricamente el bobinado para detectar posibles cortocircuitos, contactos a masa, interrupciones o conexiones erróneas. Estas pruebas deben realizarse antes de impregnar el arrollamiento, al objeto de poder subsanar con mayor facilidad cualquier defecto que se encuentre.

Para realizar estas operaciones, se puede utilizar un comprobador de inducidos en los de tamaño pequeño y mediano, con el cual se procederá de las distintas formas que se enumeran a continuación.

5.4.7.1. Prueba de cortocircuitos entre espiras y entre delgas

Colóquese el inducido entre las masas polares en forma de "V" y sobre el mismo una lámina metálica u hoja de sierra, conéctese a continuación el aparato, accionando el interruptor de red. Si al hacer girar lentamente el inducido sobre las masas polares se produce un ligero zumbido magnético y no vibra la lámina metálica, se prueba que no existen espiras ni delgas en cortocircuito, figura 5.22.

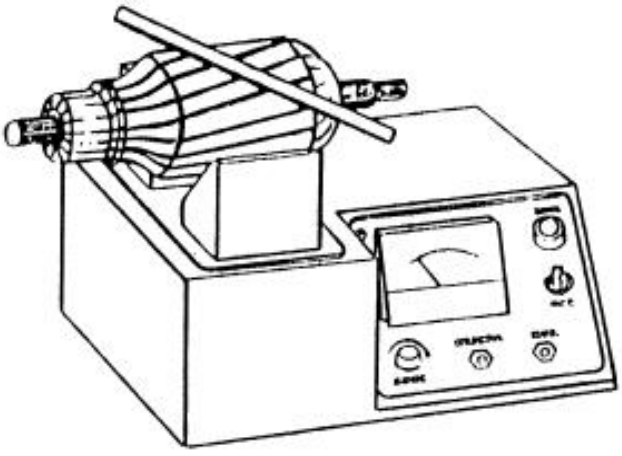


Figura 5.22. Comprobación de ausencia de cortocircuitos.

Si por el contrario al hacer girar el inducido se produce un fuerte zumbido, es prueba de la existencia de cortocircuitos. Al desplazar la lámina metálica podremos localizar la bobina que está en corto, puesto que al poner la lámina sobre ella vibrará fuertemente.

5.4.7.2. Prueba de aislamiento

Para detectar las derivaciones a masa puede utilizar la lámpara serie del comprobador o cualquier otra lámpara serie, como se observa en la figura 5.23. Con una de las puntas de se hace contacto en el eje o núcleo y con la otra se va tocando en cada una de las delgas del colector. Si el aislamiento es perfecto, la lámpara no se encenderá, cualquier indicio de luminosidad en la lámpara, será un posible fallo de aislamiento.

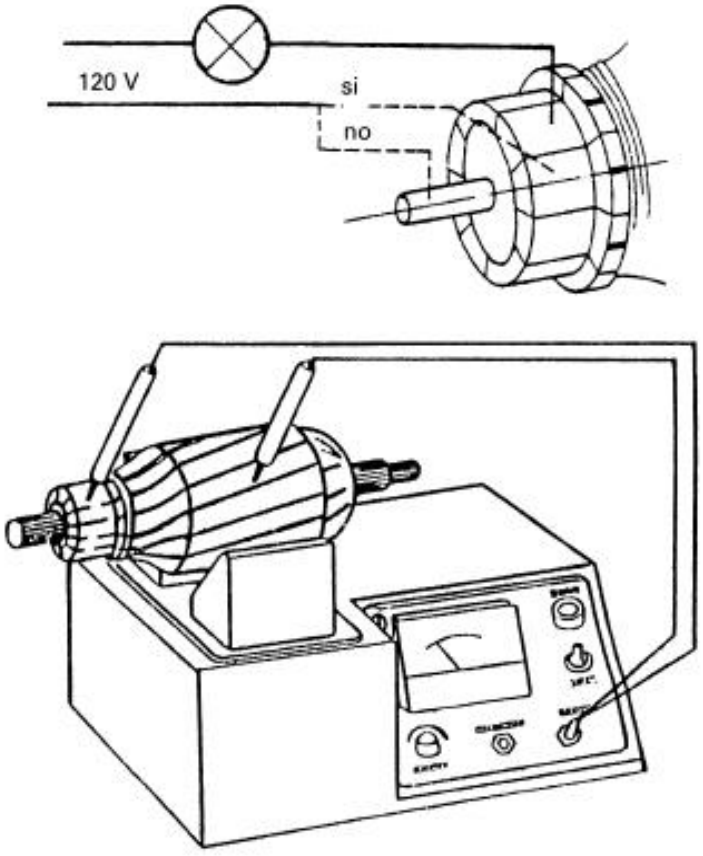


Figura 5.23. Prueba de aislamiento con lámpara serie.

5.4.7.3. Comprobación de la intensidad generada por cada bobina

Antes de iniciar esta prueba para cada tipo de inducido, es necesario dar al potenciómetro de ajuste del miliamperímetro el máximo alcance posible, con objeto de proteger el aparato. Con la pinza adecuada para ello, se tocan dos delgas y se hace girar suavemente el inducido sobre las masas polares, como indica la figura 5.24, o se mueve la pinza sobre las distintas delgas hasta hallar la máxima lectura que sea posible obtener, a la vez que se ajusta el potenciómetro para obtener el valor adecuado en la escala del miliamperímetro. Se toma nota de esta medida para tomarla como referencia. Sin cambiar la posición de la pinza de medida de donde se obtuvo la lectura máxima, se continúa girando el inducido y se comprueba que

todas las bobinas dan el mismo valor. Si se obtiene lectura cero, es prueba que la bobina está abierta o desoldadas, lecturas inferiores en alguna bobina indica soldaduras defectuosas o bobinas con número de espiras diferentes.

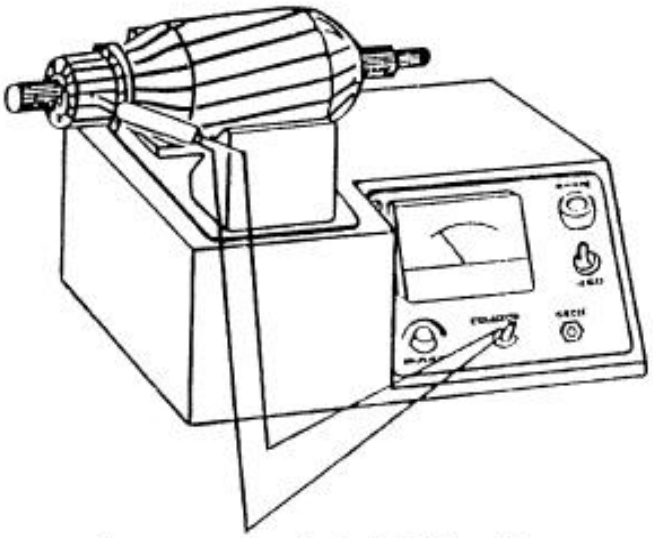


Figura 5.24. Comprobación de bobinas abiertas.

5.4.8. Impregnación y secado del inducido

Terminado el bobinado, soldados los terminales, concluido el zunchado y verificado eléctricamente el arrollamiento, la próxima operación es impregnar este último con barniz. La impregnación hace el arrollamiento estanco a la humedad y evita la vibración de las espiras de las bobinas en las ranuras. Tanto la humedad como las vibraciones acaban por deteriorar el aislamiento de los conductores, con la consiguiente producción de cortocircuitos.

El barniz empleado puede ser de dos clases, según que se seque al aire, por sí solo, o que precise un secado en la estufa. El primero únicamente se aplica cuando no se desea, o no se puede exponer el inducido al calor. El segundo es siempre preferible por resultar más efectivo, ya que la humedad sólo se elimina con un secado en la estufa.

Caso de utilizar este último, se introduce el inducido en una estufa a la temperatura de 1.200 C y se deja en ella unas tres horas con objeto de eliminar toda traza de humedad. Se retira luego de la estufa, se sumerge en barniz, se deja escurrir el tiempo adecuado y se vuelve a introducir finalmente en la estufa, donde deberá permanecer tres horas más, expuesto a la misma temperatura de antes. Antes de la inmersión en barniz es muy conveniente encintar el eje y el colector del inducido, para evitar que aquél permanezca adherido en dichas partes al secarse y tenga que ser rascado. Una vez seco el barniz, se saca el inducido de la estufa y se procede a tornear el colector.

5.4.9. Torneado y rectificación de micas del colector

El torneado del colector es necesario hacerlo para unificar la zona de frotación de escobillas, eliminando las posibles deformaciones por desgaste que éste pudiera tener, así como resto de terminales de bobinas y de las soldaduras. El torneado se efectúa con una máquina adecuada para este fin, llamada torno.

Después del torneado es necesario hacer una rectificación de micas o placas aislantes existentes entre las delgas, ello puede realizarse con máquinas especiales, o bien, con una herramienta adaptada para ello, que en el caso de inducidos pequeños puede servir una hoja de sierra afilada en forma de gancho.

5.4.10. Equilibrado mecánico del inducido

Cuando se rebobina un inducido, es necesario comprobar si éste gira libremente y de forma equilibrada, ya que de no ser así, se producen vibraciones y ruidos, que deterioran la máquina. Antes y después de su impregnación es necesario someterlo a una prueba para averiguar si mecánicamente está bien equilibrado.

Para el equilibrado de inducidos hay máquinas especiales que lo realizan de forma casi perfecta. Pero cuando no disponemos de este tipo de máquinas, se puede realizar de una forma aproximada siguiendo una serie de pasos sencillos como son:

Se pone el inducido sobre un soporte, en el que gire libremente.

Lo hacemos girar impulsándolo suavemente para que dé varias vueltas, hasta que se pare por su peso.

Marcamos la ranura que ha quedado en la parte superior.

Le damos un nuevo impulso de giro y se deja parar nuevamente, se marca también la ranura que quede en la parte superior, así varias veces, hasta que tengamos la certeza de que siempre coincide en quedar hacia arriba la misma ranura, cuando esto ocurre es que el inducido está desequilibrado.

Si por el contrario cada vez la ranura o ranuras marcadas quedan situadas en una posición distinta de la anterior, es decir, indiferente, el inducido está probablemente equilibrado.

Si las ranuras marcadas siempre quedan hacia arriba es necesario compensar el desequilibrio del inducido, pues eso indica que el punto más bajo del inducido, diametralmente opuesto al que ocupan las ranuras marcadas, hay una mayor concentración de masa. La compensación se efectúa colocando pesos, (tiras o trozos de plomo, latón o cobre) debajo, encima o en lugar de las cuñas de la ranura o ranuras marcadas, o debajo del zunchado del inducido, en los puntos de intersección de los mismos con dichas ranuras. La experiencia permite estimar la magnitud del peso que es preciso añadir para lograr la compensación deseada. Así se habrá realizado el equilibrado estático del inducido.

5.5. Construcción de las bobinas polares

Independientemente del número de espiras y sección a utilizar en una bobina polar, los pasos a dar en su construcción serán los mismos, para cualquiera de ellas.

5.5.1. Preparación del molde adecuado

Para ello es necesario seguir los siguientes pasos:

1- Se toman las dimensiones del núcleo polar, midiendo adecuadamente, las dimensiones acotadas en la figura 5.25.

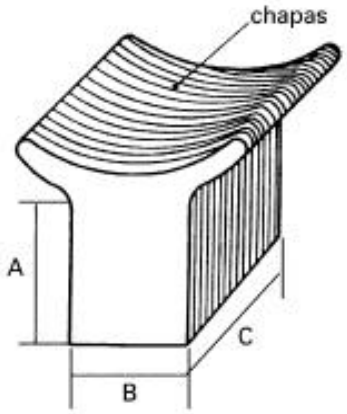


Figura 5.25. Núcleo polar.

2- Trazar sobre una madera, las dimensiones tomadas del núcleo, aumentadas éstas en unos milímetros, con objeto de salvar el espacio que ocupará el encintado que se vaya a poner, y cortando en forma cónica para que después salga con facilidad la bobina, como muestra la figura 5.26.

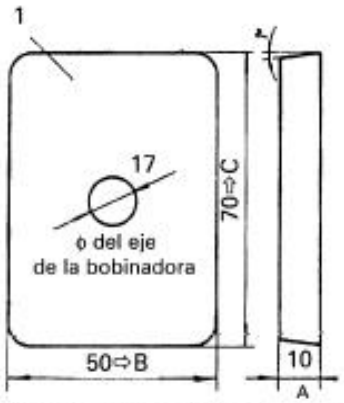


Figura 5.26. Forma y dimensiones de un molde tipo.

3- A continuación se toman dos maderas de dimensiones mayores que la anterior y se cortan como muestra la figura 5.27.

Figura 5.27. Forma y dimensiones de las maderas exteriores del molde, para la construcción de las bobinas polares.

4- Las tres maderas cortadas anteriormente formarán el carrete, que puede observarse en la figura 5.28.

5.5.2. Ejecución de la bobina polar

Para hacer las bobinas se procederá en el siguiente orden:

1- Se ponen cuerdas en las ranuras del molde, fijándolas con celofán, como se observa en la figura 5.28.

2- A continuación en una máquina bobinadora, una vez montado el carrete con hilo esmaltado adecuado, se fija en el contador de la misma el número de espiras que ha de llevar la bobina. Cuidadosamente se van poniendo capas, sin que haya hilos cruzados, y una vez se haya terminado, se atan las cuerdas que habíamos fijado al molde con celofán, quedando la bobina como muestra la figura 5.29 a).

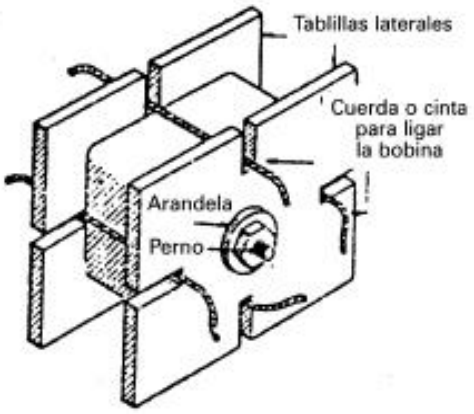


Figura 5.28. Carrete completo, con cuerdas de amarre antes de dar comienzo al bobinado.

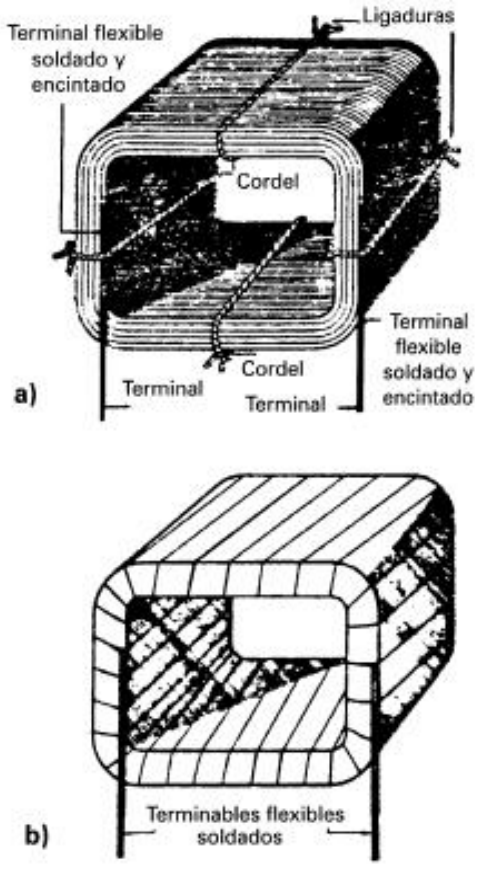


Figura 5.29. Bobina inductora después de salir del molde y posteriormente encintada.

3- A cada terminal de la bobina se suelda un conductor flexible y se le pone un macarrón aislante para cubrir el empalme, a continuación se encinta la bobina, quedando terminado como muestra la figura 5.29 b), antes de encintar la bobina debe marcarse con una "p" el principio de bobina, (el extremo por donde empezamos a bobinar) y con una "f" su final.

4- Si las bobinas corresponden a una dínamo compound tomará la disposición de la figura 5.30 a) y una vez encintadas las bobinas, la disposición de la figura 5.30 b).

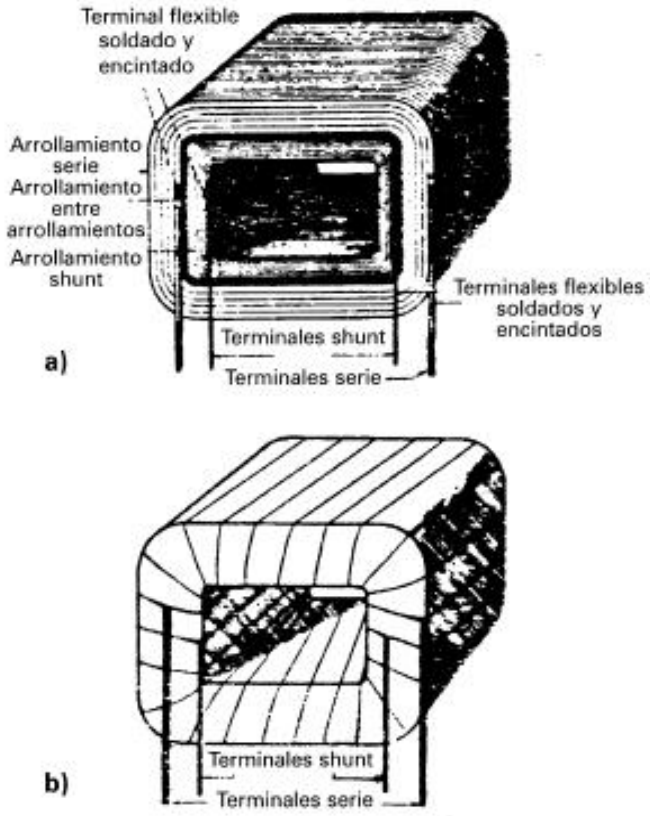


Figura 5.30. Bobinas de un bobinado compound.

5- Una vez terminada una bobina polar, es necesario moldearla con objeto de adaptarla a la zapata o núcleo polar. El moldeado puede hacerse sobre molde de madera o sobre el propio núcleo donde se vaya a montar. Una vez montada sobre el núcleo, presentará el aspecto de la figura 5.31. Ya sólo es necesario acoplar la masa polar a la carcasa y proceder al conexionado.

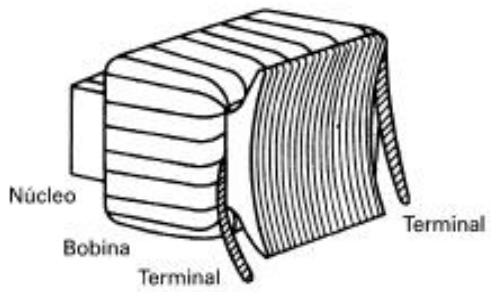


Figura 5.31. Aspecto del núcleo polar con bobina montada.

5.5.3. Conexionado de las bobinas polares

Las bobinas inductoras se conectan siempre de manera que se obtengan polaridades sucesivamente alternas,(N-S-N-S).

Las bobinas inductoras suelen conectarse siempre en serie entre sí, excepto en motores grandes donde suelen conectarse de forma combinada para trabajar con tensiones diferentes.

Para conseguir polaridades alternadas, es necesario que la corriente circule en sentido horario para formar polos sur y antihorario para formar los nortes, figura 5.32.

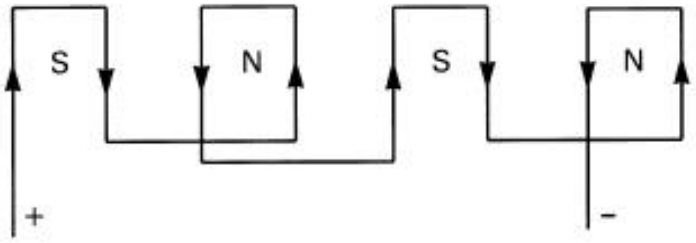


Figura 5.32. Conexionado de bobinas polares entre sí.

5.5.4. Determinación de las polaridades

Cuando una bobina está encintada no puede verse el sentido de arrollamiento, por ello es necesario recurrir a pruebas para determinar la polaridad de las bobinas. Estas pruebas pueden ser:

- Con brújula, en este caso es suficiente con alimentar la bobina con c.c., a muy baja tensión y acercar una brújula, ésta nos indicará qué polo es. La polaridad de cada polo puede cambiarse, si cambiamos la polaridad de la tensión de alimentación. La forma de realizar la prueba puede observarse en la figura 5.33, si por el tamaño de la máquina o bien por estar montada, no es posible entrar la brújula, puede solucionarse colocando en el entrehierro frente al polo una lámina de hierro dulce, colocando la brújula en el extremo opuesto. Siempre que es necesario al cambiar la lámina metálica de polo, eliminar los restos de magnetismo residual, dándoles pequeños golpes.

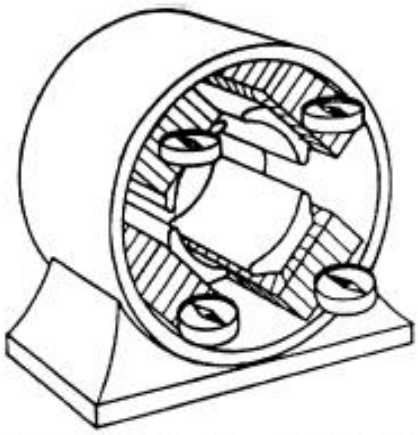


Figura 5.33. Comprobación de la polaridad con brújula.

- Con un clavo, en este caso como en el anterior, se alimenta el circuito inductor con corriente continua y se adosa la cabeza de un clavo a una zapata polar cualquiera, si la polaridad es correcta, el otro extremo del clavo será atraído por el polo contiguo, si no es así, es necesario cambiar la conexión, figura 5.34.

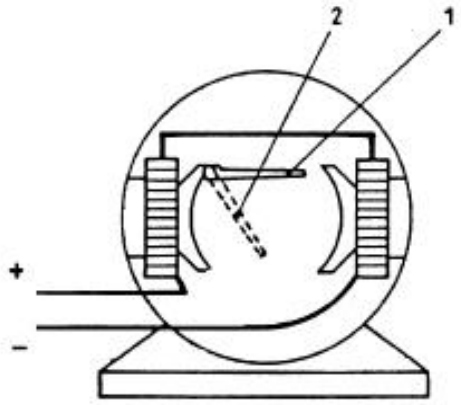


Figura 5.34. Comprobación de la polaridad con clavo.

- Comprobación por tanteo, ello es posible en las máquinas bipolares, si con una conexión no se forman polos alternos, al cambiar el orden, seguro que funciona.

5.6. Informe del trabajo realizado

El parte de trabajo realizado, es habitual en las empresas y es la forma de conocer el trabajo desarrollado por cada trabajador a lo largo de la jornada. A su vez es la forma de valorar el trabajo, cuando éste ha de cobrarse a un tercero.

Para hacer que el parte o informe del trabajo desarrollado, sea fácil de hacer y a la vez aporte toda la información deseada, puede hacerse un formulario como el reflejado en la figura 5.35.

Estos partes de trabajo deben ser archivados junto con una copia de la factura correspondiente, de forma que resulte cómodo y fácil de localizar, especialmente en el caso de reclamaciones de los clientes.

PARTE DE TRABAJO DE MÁQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA

Fecha: ..... Hora:	Tipo de máquina: .....
Nº de referencia:	Potencia: ..... V: ..... I: .....
BOBINADO INDUCIDO	**BOBINADO INDUCTOR**
Nº de esp: ..... Ø hilo:	Nº de esp: ..... Ø hilo: .....
K: ..... Y_K: ..... Y_P:	Nº de polos: ..... Polos auxil.: .....
Imbricado: ..... Ondulado:	Serie/Shunt/Compound: .....
Tipo de trabajo realizado	**Tipo de trabajo realizado**
Comprobación:	Comprobación: .....
Reparación aislamientos:	Reparación aislamientos: .....
Barnizado:	Barnizado: .....
Rebobinado:	Rebobinado: .....
Otros:	Otros: .....
Materiales empleados:	Materiales empleados: .....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
Observaciones generales:	
.....	
.....	
.....	
TIEMPO TOTAL EMPLEADO:	DATOS DEL OPERARIO: .....
.....	.....
	FECHA: .....
	Firma

Figura 5.35. Modelo de parte de trabajo.

5.7. Normas de seguridad aplicables

Las normas mínimas de seguridad las marcan los distintos Reglamentos aplicables en cada caso, así le afectará el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión o el Reglamento de Alta Tensión dependiendo del tamaño de la máquina.

Pero además de los reglamentos mencionados, es necesario observar y cumplir la legislación de seguridad y salud aplicable en cada lugar de trabajo donde se encuentre instalada la máquina, y que le afectará en determinados aspectos, por tanto no se puede hablar de unas normas concretas y directas que afecten sólo a máquinas de corriente continua, sino de una legislación de seguridad y prevención de riesgos, algunas de las cuales se relacionan a continuación.

- Real Decreto 1495/1986, de 26 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad en las Máquinas (B.O.E.21.07.86) y modificaciones por R.D. 590/1989, de 19 de mayo (B.O.E.03.06.89) Y R.D. 830/1991, de 24 de mayo (B.O.E. 31.05.91).
- Orden Ministerial de 8 de abril de 1991 por la que se aprueba la ITC-MSG-SM del Reglamento de Seguridad en Máquinas, referente a máquinas, elementos de máquinas o sistemas de protección usados (B.O.E. 11.04.91).
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales (B.O.E. 10.11.95).
- Real Decreto 485/1997, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo (B.O.E. 23.04.97).
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo (B.O.E. 23.04.97).
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización de los trabajadores de equipos de protección individual (B.O.E. 12.06.97).
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo (B.O.E. 07.08.97).

Actividades de taller propuestas

1- Tomar una máquina compound y anotar los datos de su placa de características, comprobar su estado general, comprobar sus partes mecánicas y los distintos circuitos siguiendo todas las normas explicadas, y tomando nota adecuadamente en la tabla de revisiones.

2- Proceder al rebobinado completo de la máquina anteriormente revisada y completar un parte de trabajo.

Autoevaluación

1- Explica en breves palabras el significado de mantenimiento preventivo.

2- Escribe todo lo que sepas sobre el Tacómetro.

3- ¿Para qué sirven los aislantes en las máquinas de c.c.?

4- ¿Cómo se llaman las herramientas que nos permiten sacar los rodamientos de las máquinas?

5- Explica como se localizan los cortocircuitos en los inducidos.

6- ¿Cómo se puede saber qué bobina inductora está abierta?

7- Enumera los pasos más importantes a dar para hacer el rebobinado del circuito inductor de una dínamo.

8- Relaciona todos los pasos previos al rebobinado de un inducido.

9- ¿Cómo se hace el barnizado de las bobinas polares de un máquina de c.c.?

10- Relaciona algunas normas de seguridad, a tu juicio importantes, de observar en el taller de máquinas.

Ensayos de máquinas eléctricas de corriente continua

Introducción

Las máquinas de corriente continua se comportan de formas diferentes según desde donde se tome la corriente que ha de alimentar las bobinas inductoras, ésta se puede tomar:

a) De una fuente independiente de la máquina; como por ejemplo de una batería, puente rectificador, excitatriz (pequeña dinamo acoplada al eje de la máquina), etc.

b) De la propia máquina, en este caso, es una máquina autoexcitada, que puede ser serie, shunt o compound.

Pero en todas ellas AUTOESCITADAS o no, se producen pérdidas durante su funcionamiento de tipo mecánico y eléctrico, que es necesario determinar, para ello hemos de someterlas a diferentes ensayos en el caso que nos ocupa las someteremos a ensayos de vacío, de carga y regulación.

Contenido

- *Identificación del tipo de máquinas corriente continua por su placa de bornas*
- *Funcionamiento de la dinamo de excitación independiente.*
- *Dinamos autoexcitadas.*
- *Funcionamiento de la dinamo de excitación serie.*
- *Dinamo de excitación shunt.*
- *Características de regulación para la dinamo de excitación shunt.*
- *Motor de corriente continua.*
- *Cambios de temperatura en las máquinas.*
- *Informe de los ensayos realizados.*
- *Normas de seguridad aplicables.*
- *Actividades de taller propuestas.*
- *Autoevaluación.*

Objetivos

- *Conocer el principio de puesta en funcionamiento de las máquinas de c.c.*
- *Identificar una máquina por medio de su placa de bornas.*
- *Saber realizar las conexiones necesarias para arrancar cualquier máquina de c.c.*
- *Realizar los ensayos de vacío, carga y regulación, obteniendo sus correspondientes características.*

6.1. Identificación del tipo de máquinas corriente continua por su placa de bornas

Toda máquina va provista de una placa de material aislante, en la que están dispuestos un número determinado de tornillos o elementos de fijación, donde asir las terminaciones de los diferentes circuitos de que disponga la máquina. Estos tornillos o bornes debe tener una disposición normalizada, para que todos podamos entenderla.

La disposición normalizada es:

ANTIGUA	CIRCUITO AL QUE CORRESPONDE
A-B	BOBINADO INDUCIDO
C-D	BOBINADO INDUCTOR SHUNT
E-F	BOBINADO INDUCTOR SERIE
G-H	BOBINADO INDUCTOR DE CONMUTACIÓN
J-K	BOBINADO INDUCTOR INDEPENDIENTE

Eo	Ao	Fo
HBo	Co	Do

Figura 6.1. Placa de bornas de una máquina de c.c., de excitación compound.

Así con sólo observar las letras impresas en la placa de bornas puede saberse de qué tipo de máquina se trata. Es necesario tener en cuenta que las letras A, C, E, G Y J corresponden a los principios de bobinado y el resto a los finales. Los principios se conectarán al positivo y los finales a los negativos como norma general.

EJEMPLO: Si observamos que la placa aparecen las letras (A-BH-C-D), estamos ante una máquina de excitación shunt.

En el caso de no existir letras, podría medirse la resistencia de los devanados, que como sabemos, los de excitación serie serán de valor muy bajo, mientras que los bobinados de excitación shunt, presentan un valor alto. Para distinguir los devanados de excitación de los del inducido, bastará levantar una escobilla del colector, operación que se hace por la ventanilla de acceso a las mismas, con que cuentan las máquinas de c.c.

6.2. Funcionamiento de la dinamo de excitación independiente

Como es sabido la dinamo convierte la energía mecánica que recibe por su eje, en energía eléctrica que suministra por sus bornas.

Una máquina es de excitación independiente, cuando la corriente que recorre el circuito inductor está generada por una fuente de alimentación exterior, totalmente independiente de la máquina. Para calcular las características de la fuente exterior de alimentación, es necesario conocer la resistencia y la intensidad que ha de recorrer el inductor.

La dinamo genera f.e.m., si se cumplen dos condiciones:

1- Hay presencia de flujo inductor, y para ello tiene que circular c.c. por el bobinado de los polos inductores.

2- Gira el inducido en el seno del flujo inductor.

Teniendo en cuenta el principio de generación de f.e.m. inducida "E", ésta depende del valor del flujo "Φ", del número de conductores del inducido que cortan líneas de fuerza "N", de la velocidad de giro "n" y del cociente entre pares de polos "p" de la máquina y el número de circuitos paralelos "a" del inducido, como relaciona la siguiente ecuación:

$$E = \frac{N \cdot \Phi \cdot n \cdot p}{10^8 \cdot 60 \cdot a}$$

Pero en esta ecuación hay valores que son constantes para cada máquina en particular, como son:

$$K = \frac{N \cdot p}{10^8 \cdot 60 \cdot a}$$

Con lo que la ecuación de la f.e.m., inducida quedaría:

$$E = K \cdot \Phi \cdot n$$

Modificando una de las variables "Φ" o "**n**", varía la tensión inducida en los bornes de la máquina (Ua). Para modificar "n", será necesario variar la velocidad de la máquina motriz, pero lo más fácil es modificar el valor del flujo, modificando la intensidad de excitación, de ahí que los ensayos se realicen a velocidad constante, siendo ésta, la nominal de la máquina a ensayar.

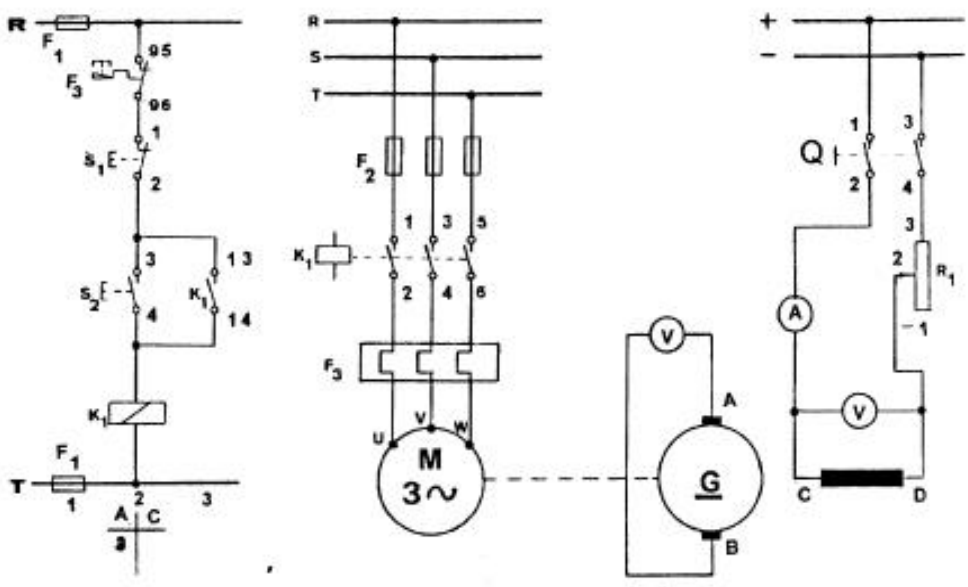


Figura 6.2. Esquema de conexiones a realizar para la puesta en marcha de una dínamo arrastrada por un motor asíncrono trifásico.

6.2.1. Puesta en funcionamiento o arranque

Se hará de forma secuencial de acuerdo con el siguiente orden:

a) Puesta en marcha del motor de arrastre, que provoca el movimiento del rotor de la dinamo.

b) Cierre del interruptor **Q**, que alimenta el circuito inductor.

c) El voltímetro indica un valor progresivo de f.e.m., en bornes de la máquina, valor que será igual a la f.e.m., inducida.

d) Regular con $\mathbf{R_1}$ la tensión en bornes, hasta obtener el valor nominal.

6.2.2. Características de vacío

Es la relación que existe entre la f.e.m. "E_0" generada en el bobinado inducido y la corriente de excitación "Iex.", cuando la máquina funciona con el circuito del inducido abierto, a velocidad "n", constante.

Por tanto, cuando la máquina funciona en vacío ($\mathbf{I_{ind.}=0}$), hemos de medir:

a) La tensión en bornes $\mathbf{U_a}$.

b) La intensidad de excitación $\mathbf{I_{ex}}$.

La fuerza electromotriz generada en el inducido de la dinamo viene dada por la relación:

$$E_0 = K \cdot \Phi_0 \cdot n$$

Si consideramos que la velocidad "n" se mantiene constante, la E_0 es proporcional al Φ_0. El flujo inductor depende del hierro, de las bobinas inductoras y de la intensidad que circula por ellas:

$$\Phi_0 = f\,(\text{Nesp} \cdot \text{Iex})$$

Nesp.- Número de espiras del circuito inductor.
Iex.- Intensidad de excitación.

Es decir, que el Φ_0 toma un valor determinado para cada valor de Iex, con velocidad **"n"** constante en cada máquina. La representación de esta función corresponde a la curva de magnetización del hierro, que se representa en la figura 6.3.

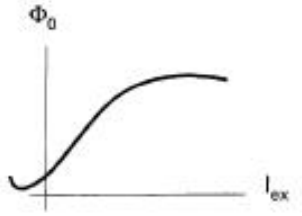


Figura 6.3. Curva de magnetización del hierro.

Para una velocidad determinada $\boldsymbol{n_1}$, la función que relaciona la $\boldsymbol{E_0}$ e $\boldsymbol{I_{ex}}$ aparece reflejada en la figura 6.4, que tiene la misma forma que la curva de magnetización del hierro, figura 6.3. En el origen presenta una tensión residual que corresponde al magnetismo remanente; en el resto de la curva se observa una proporción prácticamente constante

Figura 6.4. Curva de vacío de máquina de excitación independiente.

entre la intensidad de excitación y la f.e.m. generada. Una vez alcanzada la saturación del hierro, la f.e.m. no aumenta por mucho que se eleve la corriente de excitación, o lo hace muy poco.

Para velocidades inferiores a la nominal, $\boldsymbol{n_2}$, $\boldsymbol{n_3}$, el valor de f.e.m. generada disminuye proporcionalmente.

EJEMPLO: Sometiendo a ensayo de vacío una dinamo de excitación independiente, movida por un motor asíncrono a 1.480 r.p.m. se obtienen los datos medios reflejados en la siguiente tabla:

E_0	85	125	150	175	200	215
I_{ex}	0,06	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
n	1480	1480	1480	1480	1475	1475

Teniendo en cuenta la expresión $E = K \cdot \Phi \cdot n$ apartado 6.2.2, podemos afirmar que manteniendo el flujo constante, la f.e.m. es proporcional a la velocidad, luego:

$\frac{E_0}{n} = \frac{E_{01}}{n_{01}}$; $E_{01} = \frac{E_0 \cdot n_{01}}{n}$. Por tanto el valor de E_0, será E_{01} para la velocidad de 1.480 r.p.m.:

$$E_{01} = \frac{200 \cdot 1.480}{1.475} = 200{,}678\ V$$

$$E'_{01} = \frac{215 \cdot 1.480}{1.475} = 215{,}73\ V$$

La representación de la curva de vacío será:

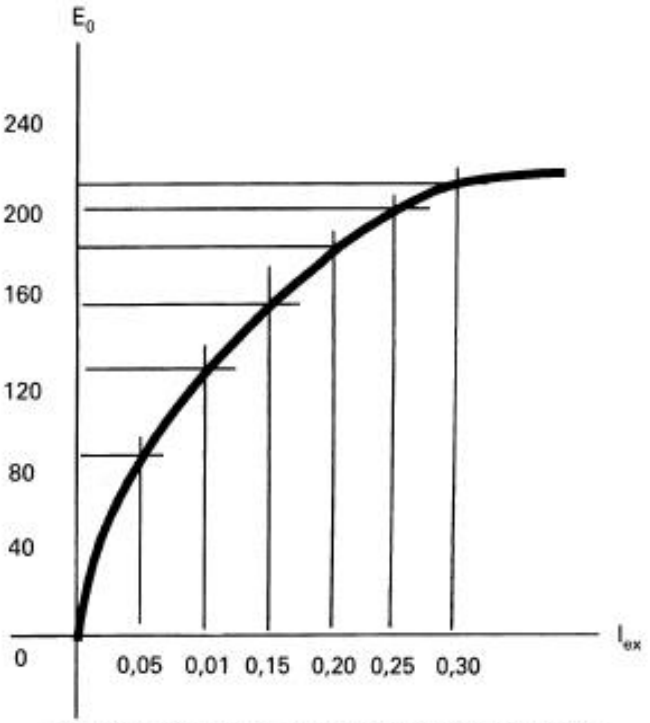


Figura 6.5. Representación gráfica de los datos obtenidos.

6.2.2.1. Ensayo de vacío de la dinamo de excitación independiente

Al hacer este ensayo determinaremos las siguientes características:

Curva de vacío.

Valor de E con Iex = 0, como consecuencia del magnetismo remanente.

Valor de la corriente de excitación con el que se alcanza la saturación magnética.

En la realización del ensayo se deben seguir los siguientes pasos:

1- Montar el circuito de la figura 6.6.

2- Cerrar el interruptor Q de la máquina de arrastre y regular la velocidad hasta valor deseado.

3- Con velocidad nominal, tomar nota de la E generada.

4- Cerrar el interruptor Q1 del circuito de excitación de la dinamo en ensayo, asegurándose previamente de que su circuito inducido está abierto, y de que R2 está en valor medio.

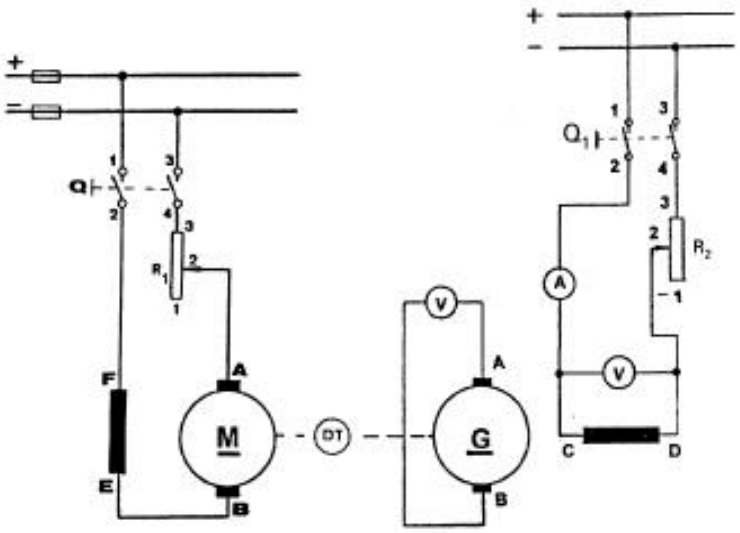


Figura 6.6. Esquema de conexiones a realizar para hacer el ensayo de vacío.

5- Regular con R1 la velocidad, hasta el valor nominal de la máquina, valor que podemos controlar continuamente a través de la dinamo tacométrica.

1.500 r.p.m.	I_{ex} >	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
	E_0							
	I_{ex} <	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
	E_0							
	Valor medio							
1.000 r.p.m.	E_0							
500 r.p.m.	E_0							

Figura 6.7. Tabla de valores obtenidos del ensayo de vacío para una dinamo de excitación independiente.

6- Tomar nota en la tabla de la figura 6.7, de los valores de **E** para **Iex** crecientes y decrecientes. Hallar en su valor medio.

7- Realizar las medidas con valores crecientes para 500 y 1.000 r.p.m.

8- Trazar la curva correspondiente.

Figura 6.8. Gráfico de valores obtenidos en el ensayo de vacío

6.2.3. Material recomendado para el ensayo de vacío

Este material siempre tendrá sus características eléctricas, en función de las máquinas a las que vayamos a ensayar, siendo necesario lo siguiente:

Máquina de c.c., excitación independiente de 0,5 CV.

Motor de c.c., para el arrastre que puede ser de 1 CV.

Dos voltímetros.

Un amperímetro.

Una dinamo tacométrica.

Reóstatos y material complementario.

6.2.4. Características de carga

Cuando la dinamo de excitación independiente funciona en carga, $E \neq Ua$ puesto que la corriente de carga produce pérdidas por caídas de tensión en:

Circuito inducido está formado por bobinas cuyos conductores presentan resistencia y a su vez pérdidas por efecto Joule, que son proporcionales a la intensidad de carga, **(r.I).**

Por contacto de escobillas, que se disipa en forma de calor y es proporcional a I, **($2\ V_{co}$).** (Dos líneas de escobillas.)

En el circuito exterior o de la carga, **(RI).**

Reacción del inducido ε, la corriente que circula por el inducido crea un flujo perpendicular al flujo inductor principal. Esta reacción magnética entraña una bajada de la tensión en bornes, pérdidas que quedan englobadas en la función (ε **(I)**).

Polos de conmutación, su utilización disminuye notablemente la reacción del inducido. El flujo creado por estos

polos auxiliares se opone directamente al flujo de reacción. Los conductores que forman las bobinas presentan resistencia y por tanto, pérdidas por efecto Joule ($\mathbf{r_C \cdot I}$).

La f.e.m. generada en su interior del inducido ha de cubrir todas las perdidas mencionadas anteriormente, así podemos decir que:

$$E = r \cdot I + r_C \cdot I + \varepsilon + R \cdot I + 2\ Vco$$

Si conocemos la corriente absorbida por la carga, podemos calcular el valor de la tensión en bornes de la máquina, $Ua = R \cdot I$ o bien $Ua = E_0 - (I \cdot R_i + \varepsilon)$. La expresión $R_i \cdot I$ representa a todas las caídas de tensión internas.

Las pérdidas debidas a la reacción del inducido ε, las podemos calcular por la diferencia entre el valor de **Eo** del ensayo de vacío y el valor de **Ua,** menos la caída de tensión debida a la resistencia interna, cuando la máquina funciona en carga a la misma velocidad y con la misma corriente de excitación que lo hacía cuando se tomó el valor de E_0.

$$\varepsilon = E_0 - Ua - R_i \cdot I$$

EJEMPLO: Disponemos de una dinamo de excitación independiente, en su placa se lee: Potencia: 0,5 CV //1.500 r.p.m. //Inducido: 220V-2,5A //Excitación: 220V-0,4A. Midiendo la resistencia óhmica de su circuito inducido, entre los bornes A y B, da un valor de 15 Ω y su circuito de excitación presenta una resistencia de 677 Ω. Al conectar una carga externa de 90 Ω, circula por ella una intensidad de 2A. En ensayo de vacío se obtiene como valor de E_0=230V. ¿Cuál será el valor de las pérdidas por reacción del inducido?

Calculamos en primer lugar la caída de tensión en el circuito inducido y escobillas: $I \cdot R_i = 2 \cdot 15 = 30\ V$

La tensión en bornes será: $Ua = 90 \cdot 2 = 180\ V$

Aplicando la ecuación correspondiente:

$$\varepsilon = E_0 - Ua - R_i \cdot I = 230 - 180 - 30 = 20\ V$$

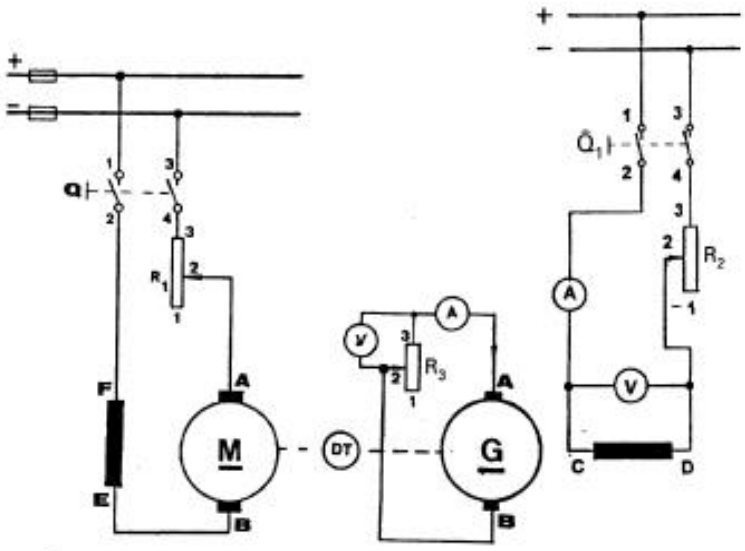


Figura 6.9. Conexiones de una dinamo de excitación independiente con circuito de carga.

6.2.4.1. Ensayo de carga de la dinamo de excitación independiente

Al hacer este ensayo determinaremos las siguientes características:

Trazado de la curva de carga.

Determinación del comportamiento de la dínamo en carga.

En la realización del ensayo se deben seguir los siguientes pasos:

1- Montar el circuito de la figura 6.9.

2- Cerrar el interruptor Q de la máquina de arrastre y regular la velocidad hasta el valor nominal de la dinamo a ensayar.

3- Cerrar el interruptor Q1 del circuito de excitación de la dinamo en ensayo, asegurándose previamente de que su circuito de carga se encuentra conectado, y de que R_3 está en valor medio.

4- Regular con R, la velocidad, hasta el valor nominal de la máquina, valor que podemos controlar continuamente a través de la dinamo tacométrica.

Velocidad nominal	*In*	0	0,2	0,5	0,7	0,9	*In*	1,2
	I							
	U_a							
	$I \times R_i$							
	E_0							

Figura 6.10. Tabla de valores obtenidos del ensayo en carga para una dinamo de excitación independiente.

6- Tomar nota en la tabla de la figura 6.10, de los valores de **I** y $\mathbf{U_a}$, calculando posteriormente el resto.

7- Trazar las curvas correspondientes.

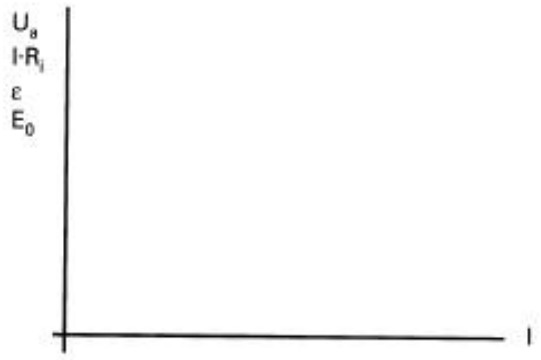


Figura 6.11. Gráfico de valores obtenidos en el ensayo de carga

6.2.5. Material recomendado para el ensayo de carga

Como hemos mencionado en el ensayo de vacío, este material siempre tendrá sus características eléctricas, en función de las máquinas a las que vayamos a ensayar, siendo necesario lo siguiente:

- Máquina de c.c., excitación independiente de 0'5 CV.
- Motor de c.c., para el arrastre que puede ser de 1 CV.
- Dos voltímetros.
- Dos amperímetros.
- Una dinamo tacométrica.
- Resistencia de carga de valor regulable.
- Reóstatos y material complementario.

6.2.6. Estabilidad de una máquina con excitación independiente

Como puede comprobarse en la ecuación de la tensión en bornes, el valor de esta tensión es inversamente proporcional con el de la corriente de carga, de forma que cuando

$$Ua = E_0 - (I \times R_i + \varepsilon)$$

esta corriente de carga aumenta, la tensión en bornes disminuye. Por tanto, su funcionamiento es estable, y adecuado para aplicaciones donde se prevean variaciones de carga importantes.

6.3. Dinamos autoexcitadas

Una dinamo es autoexcitada cuando su bobinado inductor principal está conectado directamente con el bobinado inducido. Esta conexión puede ser:

a) En serie con el circuito exterior y con el bobinado inducido.

b) En derivación con el circuito exterior e inducido.

c) Compuesta de las dos anteriores.

6.3.1. Principio de autoexcitación

Para conseguir la autoexcitación de una dinamo es preciso que sus masas polares posean cierto magnetismo remanente R que permita generar una pequeña f.e.m., que irá aumentando progresivamente.

6.3.2. Condiciones de cebado

Para que tenga lugar el cebado de una dinamo, la corriente que circula por las bobinas inductoras de los polos principales será de tal sentido que el flujo creado tienda a reforzar el magnetismo remanente. Esto se puede comprobar en el esquema de la figura 6.12.

Si las masas polares no tienen magnetismo remanente, o si por conexión errónea, el sentido de la corriente tendiera a anularlo, no generará f.e.m., el inducido y la dinamo no se ceba, es el caso reflejado en la figura 6.13, en la que las conexiones son incorrectas, de tal forma que el flujo creado por los polos Φ, es de sentido opuesto al flujo remanente Φ_R.

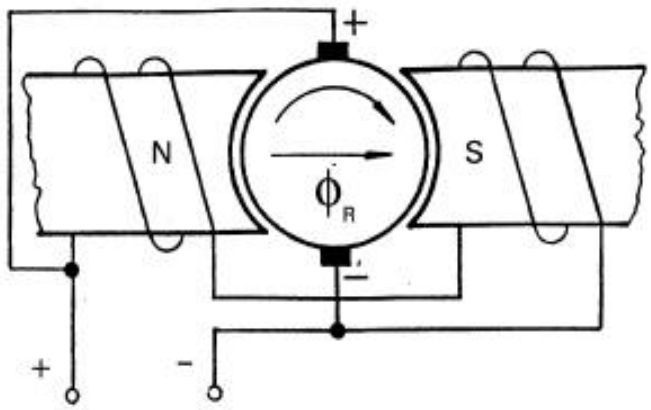


Figura 6.12. Conexiones a realizar para autoexcitación.

Teniendo en cuenta esto, antes de poner en funcionamiento una dinamo, es imprescindible asegurarse de que las conexiones sean correctas. Para ello se debe tener en cuenta la siguiente regla:

"La polaridad de los bornes **A** y **B** del inducido de la dinamo depende, además del sentido del flujo remanente, del sentido de giro de la armadura"

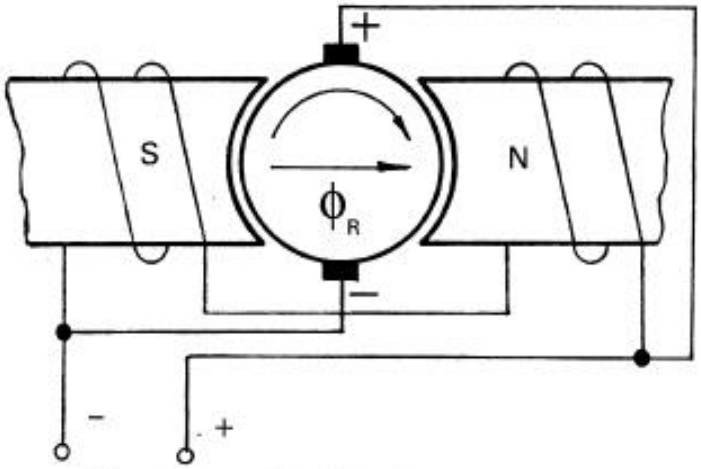


Figura 6.13. Conexión de descebado de una dinamo.

Esta regla hace ver la necesidad de que las conexiones sean las adecuadas, para que el sentido de la corriente en las bobinas inductoras sea siempre el mismo. Observemos en la figura 6.14, el sentido de giro del rotor es contrario al de las agujas del reloj, por ello es necesario conectar el borne **C** del bobinado inductor, con el **B** del inducido, así como el borne **D** con el **A**. De esta forma se refuerza el magnetismo remanente.

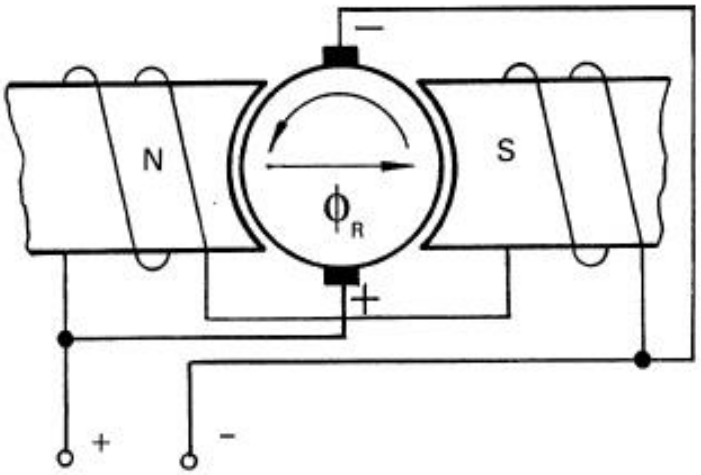


Figura 6.14. Cambio de conexiones en función del sentido de giro.

6.3.3. Comprobación práctica

Antes de arrancar una dinamo se debe tener seguridad de que se ha conectado correctamente. Para realizar esta comprobación se hacen las conexiones reflejadas en la figura 6.15, y se procede en el siguiente orden: Con el interruptor Q abierto se hace girar el rotor de la dinamo, impulsándolo con el motor de arrastre. El voltímetro marcará la tensión (+ o - según el sentido de giro) que corresponde a la f.e.m., generada debida al flujo remanente. Si cerrando el interruptor Q, esta tensión aumenta, las conexiones son correctas. Si por el contrario, la aguja se desplaza hacia cero, al cerrar el interruptor Q, las conexiones están equivocadas.

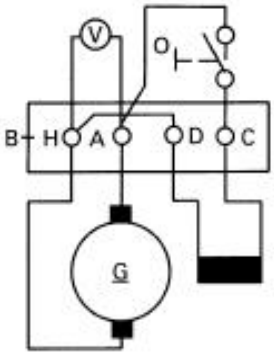


Figura 6.15. Comprobación del conexionado en una dinamo autoexcitada.

Al girar la dinamo por primera vez con Q abierto, si el voltímetro no experimenta ninguna desviación, indica que las masas polares no tienen magnetismo remanente, en cuyo caso será necesario conectar a las bobinas inductoras una fuente de alimentación externa durante unos minutos.

6.4. Funcionamiento de la dinamos de excitación serie

Es la máquina cuyo bobinado inductor está conectado en serie con el inducido y con la carga. Por tanto, el bobinado inductor es recorrido por la corriente de carga.

Con el fin de reducir las pérdidas en los diferentes circuitos, inductor principal y auxiliar de conmutación, su sección será grande y llevará pocas espiras.

6.4.1. Puesta en marcha de la dinamo serie

Para proceder al arranque de este tipo de máquina, es necesario montar el circuito reflejado en el esquema de la figura 6.16., y a continuación poner el cortocircuito sus bornes con objeto de reducir al mínimo la resistencia, para que la pequeña corriente inicial de excitación, sea lo mayor posible y refuerce rápidamente el flujo remanente de los polos. Después poco a poco se va metiendo carga hasta obtener los valores nominales.

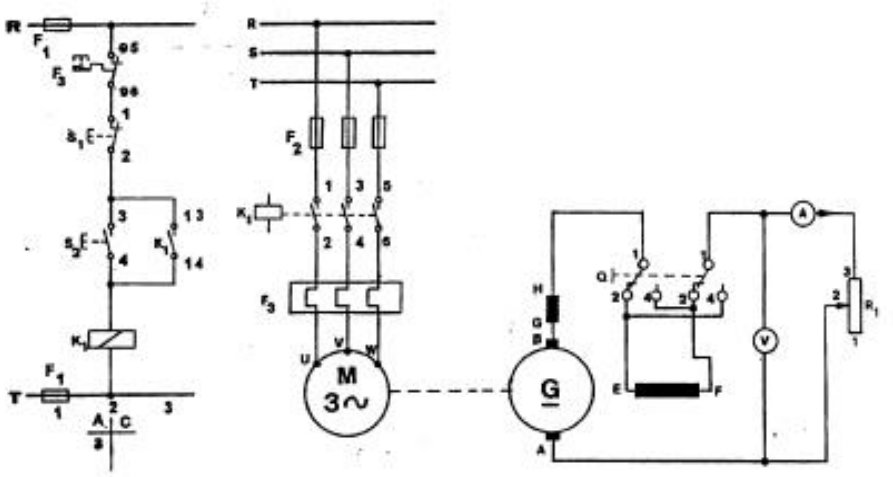


Figura 6.16. Esquema de conexiones para la dinamo serie.

6.4.2. Características de vacío

Si dejamos abierto el circuito inducido en este tipo de máquina, también queda abierto el circuito de excitación y si hacemos que funcione el circuito de excitación en condiciones normales de conexión, no funciona en vacío el bobinado inducido.

Para conocer las características de vacío en estas máquinas será necesario suministrarle tensión con una fuente exterior e independiente al bobinado inductor, tensión por otra parte que debe ser de un valor muy bajo puesto que el valor de su resistencia también lo es. El valor será: $U_s = r_s \cdot I$, el resto del proceso es el mismo que para la dinamo de excitación independiente.

6.4.3. Características de carga

En este tipo de máquinas, la f.e.m. (E) generada en su bobinado inducido, ha de cubrir los valores de caída de tensión en:

- Bobinado inducido **(rI)**.
- Bobinado inductor principal **(r_s . I)**.
- Bobinado de polos auxiliares **(r_c . I)**.
- Circuito exterior **(RI)**.
- Contacto de escobillas **(2Vco)**.

Teniendo en cuenta lo dicho:

$$E = r \cdot I + r_c \cdot I + r_s \cdot I + R \cdot I + 2V_{co}$$

El valor de la intensidad de carga o corriente de carga será:

$$I = \frac{E - 2V_{co}}{r + r_c + r_s + R}$$

Conocido el valor de la corriente de carga se puede calcular la tensión en bornes de la máquina, $U = R \cdot I$ o bien, aplicando la fórmula:

$$U = E - I\,(r + r_c + r_s) - 2V_{co}$$

6.4.3.1. Ensayo de carga de la dinamo serie

Para realizar este ensayo procederemos, una vez montado el circuito de la figura 6.16, en el siguiente orden:

1- Cortocircuitar los bornes de la dinamo mediante el reóstato.

2- Accionar el motor de arrastre y observar si hay paso de intensidad por el amperímetro.

3- Si el amperímetro no marca o lo hace en sentido contrario, cambiar de posición el conmutador **Q.**

4- Una vez alcanzada la tensión nominal en bornes, ir poniendo carga de forma progresiva, teniendo cuidado de no sobrepasar la intensidad nominal.

5- Tomar nota de los valores obtenidos en la tabla de la figura 6.17, de ***I*** y ***U*** para determinados valores de ***In***, como muestra la tabla.

VALORES DE *In*	0,25 *In*	0,50 *In*	0,75 *In*	*In*
I				
U				

Figura 6.17. Tabla de valores para el ensayo de carga.

6- Trazar la curva correspondiente a **U** en función de **I**.

7- Hacer un resumen de conclusiones.

Figura 6.18. Curva de carga de la dinamo serie

6.4.4. Material recomendado para el ensayo en carga de la máquina serie

Todos los aparatos relacionados, serán de características adecuadas a las máquinas a ensayar y al motor de arrastre.

Máquina de c.c., de excitación serie.

Motor de c.a., trifásico para el arrastre.

Un amperímetro.

Un voltímetro.

Reóstato de carga.

Material complementario.

6.4.5. Estabilidad de una máquina serie

La tensión en bornes de este tipo de máquinas aumenta cuando lo hace la intensidad de carga. Teniendo en cuenta que todo su circuito está conectado en serie, cuando disminuye la resistencia en el circuito de carga, aumenta la intensidad y aumenta el valor de E, como puede comprobarse en la siguiente ecuación:

$$E = r \cdot I + r_c \cdot I + r_s \cdot I + R \cdot I + 2\,V_{co}$$

Así, de acuerdo con lo dicho, la máquina serie es muy inestable, y poco adecuada para utilizar en circuitos donde se prevean variaciones de carga.

6.5. Dinamo de excitación shunt

La dinamo de excitación shunt o paralelo es aquélla donde su bobinado de excitación principal se conecta en paralelo con el circuito exterior, como puede observarse en el circuito de la figura 6.19.

La corriente proporcionada por el inducido de la máquina $\mathbf{I_i}$ se divide en dos, una la intensidad correspondiente al circuito exterior **I** y la correspondiente al circuito de excitación $\mathbf{I_d}$, siendo ésta de valor muy bajo, lo que da lugar a un buen rendimiento de la máquina.

$$I_i = I + I_d$$

Para conseguir un buen rendimiento de la máquina, es necesario que las pérdidas en el circuito de excitación sean lo

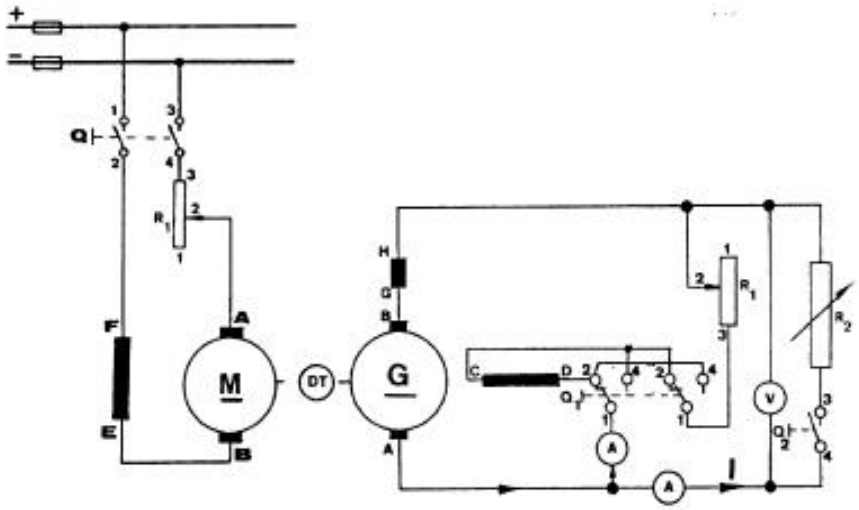


Figura 6.19. Conexiones de una dinamo de excitación shunt.

más pequeñas posible y como ya sabemos, esto se consigue poniendo una resistencia elevada. Para obtener una resistencia elevada en el bobinado inductor principal se pone hilo de poca sección y gran longitud (muchas espiras).

6.5.1. Puesta en marcha de la dinamo shunt

Para la puesta en marcha de esta dinamo, es necesario montar el circuito de la figura 6.19, y seguir los siguientes pasos:

1- Abrir el circuito exterior por la acción del interruptor Q_2. (Evitando con ello desviación de corriente por el circuito exterior.)

2- Una vez alcanzado el valor nominal de la tensión en bornes, regular ésta con el reóstato de campo R_1 al valor deseado.

3- Cerrar el interruptor Q_2, conectando la carga.

6.5.2. Características de vacío

Es la relación que existe entre la f.e.m. "E_0" generada en el bobinado inducido y la corriente de excitación "I_{ex}", cuando la máquina funciona con el circuito del exterior abierto, a velocidad "n", constante.

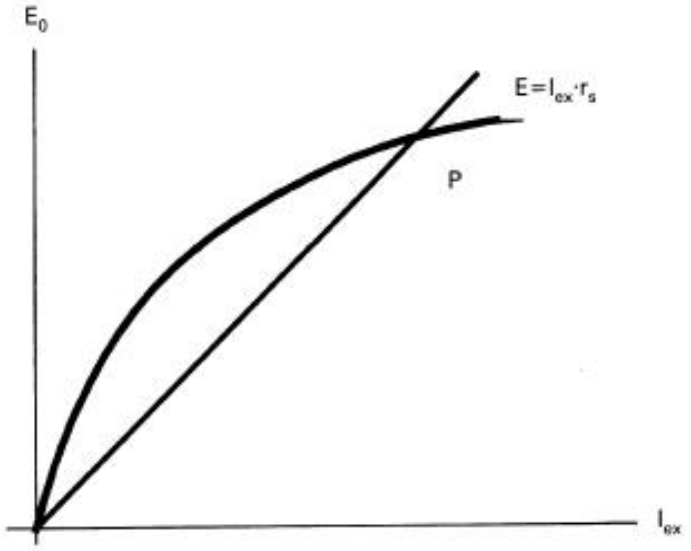


Figura 6.20. Curva de vacío de la dinamo shunt.

Al no haber demanda de corriente de carga exterior, la intensidad I_i, será muy pequeña ya que circula a través de las resistencias (r, r_s, y r_c), y teniendo en cuenta que se trata de una dinamo shunt, la resistencia es de valor elevado en las inductoras **rs,** como muestra la siguiente relación:

$$I_{ex} = \frac{U_b}{r + r_s + r_c} = I_i$$

La caída de tensión en los devanados inductores e inducidos, es prácticamente despreciable;

$$I_{ex}\ (r + r_s + r_c) \equiv 0$$

En consecuencias puede decirse que, la f.e.m. inducida, es casi igual a la d.d.p. en bornes (U_b).

$$E = U_b + I_{ex}\ \cdot (r + r_s + r_c)$$

Si tenemos en cuenta que U_b y E están relacionados con I_{ex} por la curva de vacío $E = f(I_{ex})$, la máquina ha de satisfacer las dos igualdades siguientes:

$$E = f(I_{ex}) \quad \text{y} \quad E = I_{ex} \cdot r_s$$

El punto (P) donde corta la recta que representa a $E = I_{ex} \cdot r_s$ a la curva de vacío, es el punto de funcionamiento en vacío.

Luego puede decirse que "E_0" es proporcional a "I_{ex}". Para conocer esta característica hemos de medir, con la máquina funcionando en vacío:

a) Tensión en bornes U_b.

b) Intensidad de excitación I_{ex}.

6.5.2.1. Ensayo de vacío

Para realizar este ensayo se arranca la máquina, elevando su tensión y velocidad hasta los valores nominales, con el circuito exterior desconectado.

Manteniendo la velocidad constante, se regula la intensidad de excitación, obteniéndose varios valores de E_0, y anotándolos en la tabla de la figura 6.21.

n	E_0	I_{ex}

Figura 6.21. Valores obtenidos en el ensayo de vacío de la máquina shunt

Pueden tomarse los valores con intensidad de excitación creciente y decreciente, hallándose después el valor medio.

6.5.3. Materiales recomendados para los ensayos de vacío y carga

Todos los aparatos serán de características adecuadas al tamaño de las máquinas a ensayar y al del motor de arrastre, siendo éste:

Un motor asíncrono trifásico de c.a.

Una dinamo de excitación shunt.

Un tacómetro de 0-3.000 r.p.m.

Un voltímetro.

Dos amperímetros.

Reóstato de campo.

Reóstato de carga.

Material complementario adecuado.

6.5.4. Características de carga

En este tipo de máquinas, la f.e.m. (E) generada en su bobinado inducido, ha de cubrir los valores de caída de tensión provocados por las distintas resistencias que intervienen en el circuito, como son:

Bobinado inducido, (r).

Bobinado inductor principal, (r_s).

Bobinado de polos auxiliares, (r_c).

- Circuito exterior, **R**.

  Caídas de tensión por contacto de escobillas con el colector, **2Vco**.

  Reacción del inducido, **ε**.

La expresión que nos da la f.e.m. inducida es:

$$E = (r + r_c + \frac{R \cdot r_s}{R + r_s}) \cdot I_i + 2\,V_{co} + \varepsilon$$

La corriente total suministrada por el inducido la despejamos de la expresión anterior y nos queda:

$$I_i = \frac{E - 2V_{co} - \varepsilon}{r + r_c + \frac{R \cdot r_s}{R + r_s}}$$

Si conocemos el valor de la intensidad total suministrada por el inducido (**Ii**) de la máquina, podemos calcular la tensión en bornes con sólo aplicar la siguiente expresión:

$$Ub = E - I_i (r + r_c + \frac{R \cdot r_s}{R + r_s}) - 2\,V_{co} - \varepsilon$$

Las intensidades parciales pueden calcularse igualmente con sólo aplicar la Ley de Ohm;

- La intensidad de excitación vale:

$$I_{ex} = \frac{U_b}{r_s}$$

- La intensidad del circuito exterior:

$$I = \frac{U_b}{R}$$

6.5.4.1. Ensayo de carga de la dinamo shunt

Para ello hemos de montar el circuito representado en figura 6.19.y seguir los siguientes pasos:

- Arranque del motor de arrastre, regulando su velocidad de acuerdo con la nominal de la dinamo.
- Comprobar si la dinamo genera la f.e.m adecuada, si no es así, cambiar la posición del conmutador Q_1.
- Regular la tensión de bornes, por la acción de R_1, a valor nominal y conectar la carga con Q_2.
- Una vez que la dinamo está generando la tensión nominal con intensidad nominal y a velocidad nominal, manipularemos el valor de la resistencia de carga para obtener valores escalonados de I, hasta llegar a I=0. Todo este proceso ha de hacerse sin tocar el reóstato R_1.
- Al realizar el apartado anterior se tomará nota en la tabla de la figura 6.22.

VALORES DE *In*	0 *In*	0,25 *In*	0,50 *In*	0,75 *In*	*In*
U					
I					

Figura 6.22. Tabla para ensayo de carga de la dinamo shunt.

Cuando se alcance el valor cero de I, se tendrá que la tensión en bornes U será E_0.

Con los datos obtenidos podemos calcular, entre otras cosas, el coeficiente de regulación de la máquina para una carga determinada; ello nos permite comparar unas dinamos con otras. El coeficiente de regulación, dado en tanto por ciento, se calcula con la expresión:

$$\delta = \frac{E_0 - U}{U} \cdot 100$$

También con los datos obtenidos trazaremos la curva de carga, en los ejes de la figura 6.23, con la que podemos observar el comportamiento de la tensión en bornes, en función de las variaciones de carga.

Figura 6.23. Curva de carga de la dinamo shunt.

6.5.5. Estabilidad de una máquina shunt

Al crecer la corriente demandada por el circuito exterior, aumenta la corriente total suministrada por el inducido, pero ello da lugar a una mayor caída de tensión en el circuito de éste y en los polos de conmutación, lo que provoca una disminución de la tensión en bornes de la máquina.

La disminución de la tensión en bornes de la máquina afecta a la intensidad de excitación y ésta al flujo inductor.

Por tanto, se puede decir que es una máquina shunt es muy estable, ya que su tensión en bornes disminuye cuando crece la corriente de carga en el circuito exterior.

6.6. Características de regulación para la dinamo de excitación shunt

Como ya hemos comprobado, al conectar la carga a una dinamo, se produce una caída de tensión, que aumenta su valor proporcionalmente a como lo hace la intensidad de excitación "I_{ex}" a medida que va variando la intensidad de carga "I". Pero si deseamos que la tensión en bornes del generador sea constante, hemos de modificar la intensidad de excitación a medida que varía la intensidad de carga.

La característica de regulación nos da una idea de cuánto hemos de modificar la intensidad de excitación, para que la

tensión permanezca constante a medida que va variando la intensidad de carga.

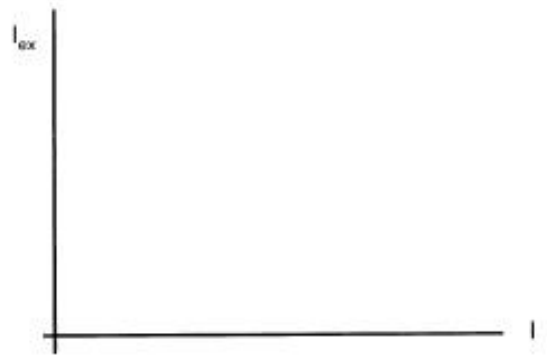


Figura 6.24. Curva de características de carga para una dinamo shunt

Esta curva de características de regulación nos va a permitir calcular el reóstato de excitación adecuado, en cuanto a valor óhmico e intensidad que ha de soportar.

6.6.1. Cálculos del reóstato de campo R1

El valor mínimo de la intensidad que ha de soportar, cuando la tensión en bornes de la máquina sea nominal, será el valor máximo que ha de tomar Iex. Este valor lo podemos calcular teniendo en cuenta la tensión nominal **"U"**, la resistencia interna del inducido **"r"** y del bobinado inductor, así como la resistencia de R_1; como se expresa en la relación siguiente:

$$I_{ex_n} = \frac{U}{(r_e + r_s + r) + R_1} \quad \text{De donde } R_1 = \frac{U}{I_{ex_n}} - (r_c + r_s + r)$$

con valores nominales.

Pero cuando la demanda de intensidad de carga disminuye, la tensión tenderá a elevarse, en este momento hemos de regular el reóstato de campo, para disminuir la intensidad de excitación **"Iex"**, ello se consigue introduciendo más resistencia en serie con el circuito inductor.

La resistencia máxima del reóstato R_{1_0} deberá ser aquélla que mantenga la tensión nominal en bornes, cuando la demanda exterior, sea cero, $I = 0$.

$$I_{ex_0} = \frac{U}{(r + r_c + r_s) + R_{1_0}} \quad \text{De donde } R_{1_0} = \frac{U}{I_{ex}} - (r + r_c + r_s)$$

Ejemplo: Supongamos que sometemos a ensayo una dinamo shunt, cuyas características son: C.V.=0,5, n=1500 r.p.m, //Inducido: 220 V, 2,5 A, r=15 Ω // Excitación:220 V, 0,4 A, (r_s+r_c)= 680 Ω. Los resultados obtenidos en el ensayo son:

En carga; para $I = 2A$, $I_{ex_n} = 0{,}25$ A, V = 210 V.

En vacío; para $I = 0$, $I_{ex_0} = 0{,}15$ A, V = 210 V.

Calcular los datos necesarios para elegir el reóstato adecuado para esta máquina.

La intensidad máxima que ha de soportar se ajustará al valor dado por el fabricante para el circuito de excitación, en este caso; $I_{ex_n} = 0{,}40$ A. Teniendo en cuenta que I_{ex_n} en el ensayo nos da 0,30 A, valor inferior. El valor de resistencia mínima será:

$$R_1 = \frac{U}{I_{ex_n}} - (r_c + r_s + r) = \frac{210}{0{,}15} - (680 + 15) = 145\ \Omega.$$

Pondremos un valor inferior que puede ser 135 Ω.

El valor máximo de resistencia será:

$$R_{1_0} = \frac{U}{I_{ex_n}} - (r + r_c + r_s) = \frac{210}{0{,}15} - 695 = 705\ \Omega.$$

En resumen: Elegiremos un reóstato de 0,4 A con valores de resistencia, comprendidos entre 135 y 710 Ω.

6.6.1.1. Ensayo para obtener las características de regulación

Siguiendo el mismo proceso que para el ensayo de carga, apartado 6.2.4.1, y con el mismo material se realiza el ensayo que nos ocupa. Partiendo de tensión en bornes nominal, se procede a:

- Reducir los valores de carga, para obtener un número determinado de puntos de **"I"**, hasta obtener $I = 0$.

  Tomar nota de los valores de U, I_{ex_n}, I, en cada uno de los apartados pedidos en la tabla de la figura 6.25.

VALORES DE *In*	0 *In*	0,25 *In*	0,50 *In*	0,75 *In*	*In*
U					
I					
I_{ex}					

Figura 6.25. Tabla para características de regulación.

- Trazar la curva correspondiente a los datos recopilados en la tabla 6.25, sobre los ejes de la figura 6.26.
- Calcular el reóstato adecuado.

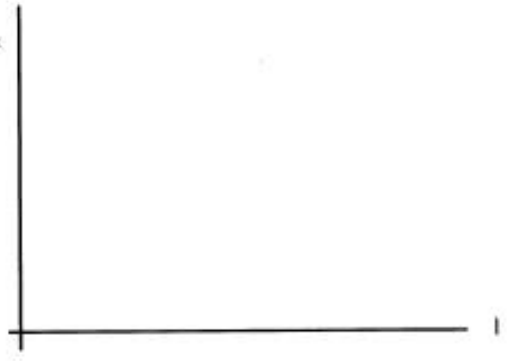


Figura 6.26. Curva de características de regulación.

6.7. Motor de corriente continua

El motor de corriente continua, es una dinamo funcionando en régimen inverso, es decir, transforma la energía eléctrica que recibe por sus bornes en forma de c.c., en energía mecánica que trasmite por su eje. Su sentido de giro, depende del de las fuerzas electrodinámicas ejercidas sobre los conductores del bobinado inducido, de acuerdo con la regla de los tres dedos de la mano izquierda. Es necesario tener en cuenta que si deseamos mantener el mismo sentido de giro en una máquina, funcionando como motor y como generador, hemos de invertir el sentido de corriente en los conductores del bobinado inducido, manteniendo idéntica la de los polos.

6.7.1. Características de velocidad en los motores serie, shunt y compoud

La velocidad en los motores de c.c, en base a la expresión de la fuerza contraelectromotriz, será:

$$n = \frac{60 \cdot 10^8 \cdot E \cdot a}{\varnothing \cdot N \cdot p}$$

Si tenemos en cuenta, que hay datos propios de cada máquina y que denominaremos K.

La expresión anterior quedaría:

$$n = \frac{U - r \cdot I}{K \cdot \varnothing}$$; donde:

K - Constante de la máquina
∅ - Flujo inductor.
n -Velocidad en r.p.m.
U -Tensión de alimentación o línea.
r- Resistencia interna de la máquina.
I- Intensidad del inducido.

Los dos procedimientos más usados en el control de la velocidad son:

Variación del flujo inductor ∅.

Variación de la tensión aplicada U.

6.7.1.1. Variación del flujo inductor

Si la tensión aplicada es constante, la velocidad depende exclusivamente del valor del flujo, si éste varía, también lo hará la velocidad.

Como ya hemos estudiado, el valor del flujo es directamente proporcional al número de espiras y a la intensidad de excitación, **Iex**. En consecuencia, podemos regular el valor del flujo, y por tanto la velocidad, variando:

El número de espiras.

La intensidad de la corriente de excitación.

El procedimiento más usado es el segundo, aunque también puede usarse la variación del número de espiras, fundamentalmente en los motores serie. En estos motores, el flujo se ve afectado por las variaciones de carga y como consecuencia su velocidad.

6.7.1.2. Variación de la velocidad al cambiar el valor de tensión aplicada

De acuerdo con la expresión de la velocidad:

$$n = \frac{U - r \cdot I}{K \cdot \varnothing}$$

Se puede considerar que ésta depende directamente del valor de la tensión, si mantenemos constante el valor del ∅ y consideramos despreciable el valor (r.I).

Pero la mejor forma de comprobar como regular la velocidad, es haciendo los ensayos correspondientes.

6.7.1.3. Ensayos de regulación de velocidad en los motores de c.c.

Montando el circuito de la figura 6.27, y haciendo funcionar el motor en vacío, sin modificar la corriente de excitación I_{ex} (sin alterar ∅) y se siguen los siguientes pasos:

Se aplican valores crecientes de tensión U.

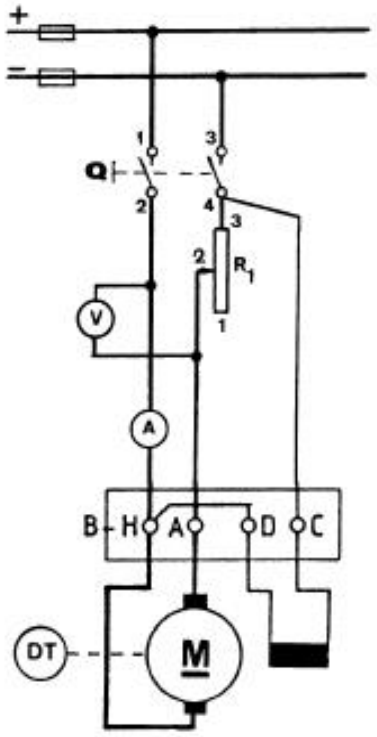


Figura 6.27. Esquema de conexiones del motor shunt.

Se toman los datos de tensión aplicada, intensidad absorbida por el inducido y velocidad del motor para cada valor de tensión aplicada en la tabla de la figura 6.28.

	U	I	n	r·I	U-r·I
U_1					
U_2					
U_3					
U_4					

Figura 6.28. Tabla de regulación de velocidad, para tensión variable

Dibujar la curva de velocidad del motor shunt en la figura 6.29 en función de U-r.I. Se medirá el valor de "r" antes de comenzar el ensayo.

Figura 6.29. Curva de velocidad para el motor shunt

6.7.2. Material recomendado para el ensayo de regulación de velocidad

Para realizar este tipo de ensayo puede emplearse cualquier tipo de motor de c.c., serie, shunt o compound.

Una máquina de c.c., para utilizar como motor a ensayar.

Una dinamo para utilizarlo como carga, si se desea hacer el ensayo con carga.

Un tacómetro. 0-3000 v.p.m.

Un voltímetro para c.c. de alcance adecuado.

Un amperímetro para c.c. de alcance adecuado.

Complementos adecuados para el conexionado.

6.7.3. Características de par motor en los motores shunt y serie

En la aplicación industrial de los motores, es una característica muy importante a tener en cuenta, y que estará en función de la máquina que vaya a mover.

Un dato importante a conocer en los motores, es la relación entre el par de arranque "Ta" y el par de rotación nominal "Tn". Ello se expresa por: **Ta = X·Tn**

El par motor teórico de un motor de c.c., nos lo dará la relación siguiente:

$$T = \frac{n \cdot \varnothing \cdot I}{2\pi \cdot 9{,}81 \cdot 10^8}$$;que podemos transformar en: $T = K \cdot \varnothing \cdot I$;

donde:

T- Par motor.

K- Constante de la máquina.

∅- Flujo inductor.

I- Corriente absorbida por el inducido.

Según esta expresión, el par motor es proporcional al flujo inductor y a la intensidad de la corriente absorbida; siendo muy grande ésta, en el momento del arranque, será, muy grande el par en ese momento.

En este cálculo se ha prescindido de las pérdidas mecánicas y en el hierro, por considerarse éstas pequeñas.

Teniendo en cuenta que en la industria, la potencia de los motores se expresa en caballos de vapor **"CV"** y la velocidad en r.p.m, la expresión anterior se transforma en:

$$T = 716 \cdot \frac{Pu}{N}$$

T- Par motor en Kg/metros.
Pu- Potencia útil del motor en CV.
N- Velocidad en r.p.m.

El par motor es el producto del radio de la polea por la fuerza tangencial, de manera que para una fuerza determinada, a mayor diámetro de polea, menor esfuerzo realiza el motor.

$$T = F \cdot R$$

Ejemplo: Si disponemos de un motor de 1 CV a 1.500 r.p.m al que acoplamos poleas de 5 y 10 cm de radio. ¿Qué fuerza ejerce en cada caso?

$$T = 716 \cdot \frac{1\ CV}{1.500\ r.p.m.} = 0{,}4773\ Kg/m$$

$$T = F \cdot R;\ F_5 = \frac{T}{R} = \frac{0{,}4773\ Kg/m}{0{,}05\ m} = 9{,}546\ Kg$$

$$F_{10} = \frac{T}{R} = \frac{0{,}4773\ Kg/m}{0{,}10\ m} = 4'773\ Kg$$

6.7.3.1. Motor shunt. Par motor

En este tipo de motor la corriente de excitación es constante y por tanto, el flujo inductor. El par motor es proporcional a la intensidad absorbida. En el arranque, como la intensidad es varias veces superior a la nominal, en la misma proporción, lo será el par.

6.7.3.2. Motor serie. Par motor

En los motores serie, el flujo, es proporcional a la corriente que circula por el inductor. De ahí, que en estos motores, el par es proporcional al cuadrado de la intensidad. A pesar del control de la intensidad de arranque, esta siempre es superior a la nominal, por lo que puede decirse que el motor serie tiene un fuerte par de arranque.

La velocidad decae rápidamente si se mantiene la carga y se embalan si ésta se elimina totalmente, lo que los hace inestables y poco utilizados.

6.7.3.3. Ensayo para trazar la curva de par motor

Puede hacerse disponiendo de una dinamo freno acoplada al eje del motor a ensayar, como muestra la figura 6.30.

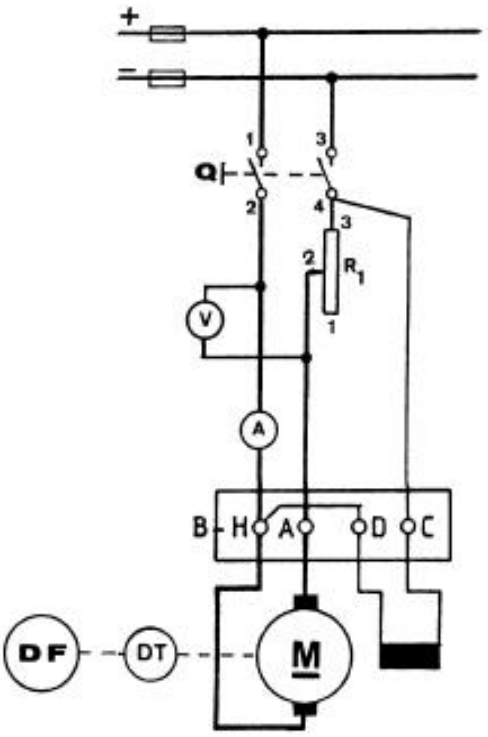


Figura 6.30. Motor shunt acoplado a una dinamo freno.

Las dinamos frenos, están equipadas con un sistema de regulación de frenado electrónico, así como de un traductor de par, que da éste directamente en el cuadrante de un aparato de medida, en N/m. Teniendo en cuenta lo anterior, el proceso para tomar los datos será:

- Montar el circuito de la figura 6.30.
- Arrancar el motor a ensayar.
- Regular la dinamo freno para conseguir, en el motor unas intensidades "**I**" de diferentes valores.
- Tomar nota en la tabla de la figura 6.31 de los datos obtenidos.

VALORES DE *In*	0 *In*	0,25 *In*	0,50 *In*	0,75 *In*	*In*
U					
I					
T					
r.p.m.					

Figura 6.31. Valores obtenidos en el ensayo de par motor.

- Trazar la curva correspondiente al par "**T**" en función de **"I"**, en las coordenadas de la figura 6.32.

Figura 6.32. Gráfica del par motor.

- Repetir todo el proceso para cada tipo de motor que se desee ensayar.

6.7.4. Material recomendado para el ensayo de par motor

En este ensayo es necesario contar con un banco de ensayos, donde los motores y dinamo freno sean de características similares para su acoplamiento entre sí, así como un equipamiento complementario adecuado, contándose al menos con:

- Una dinamo freno y sus complementos.
- Un amperímetro.
- Un miliamperímetro.
- Un voltímetro.
- Reóstatos de campo adecuados para los motores.
- Un motor de excitación shunt.
- Un motor de excitación serie.

6.8. Cambios de temperatura en las máquinas

Como ya vimos en el tema tres, las perdidas de potencia que se producen en una máquina eléctrica se transforman en calor.

El calor que se produce en una máquina da lugar a que se eleve su temperatura, y cuando ésta es mayor que la temperatura ambiente, la cede al exterior, a la vez que se sigue elevando la de la máquina. Cuando todo el calor que se produce en la máquina es cedido al exterior, la temperatura de la máquina se estabiliza, se ha llegado al equilibrio térmico.

En funcionamiento nominal de la máquina, a la temperatura alcanzada cuando llega al equilibrio térmico, se le denomina temperatura de régimen. El exceso de temperatura de régimen perjudica seriamente a las máquinas.

La medida de temperaturas se hace con aparatos adecuados, denominados "termómetros". Existen en el mercado varios modelos, suelen ser digitales y con márgenes de medición comprendidos entre -50 ºC y 1.300 ºC.

6.8.1. Calentamiento de la máquina de c.c.

Es la diferencia entre la temperatura alcanzada por una de sus partes y la temperatura ambiente.

$$\Delta T = T_{maq.} - T_{amb.}$$

El calentamiento de una máquina es directamente proporcional a la potencia perdida en la máquina y a la superficie de contacto con el aire.

Para medir el calentamiento de una máquina, se deja funcionar a régimen nominal durante un tiempo, hasta alcanzar el

equilibrio térmico, (éste se alcanza cuando durante media hora la temperatura aumenta menos de 0,5 °C) y en este momento se toman las medidas, con termómetros adecuados.

Los calentamientos a medir son dos:

- Calentamiento local o de un punto determinado.- Se calcula aplicando la fórmula:

$$\Delta T = T_{maq.} - T_{amb.}$$

- Calentamiento medio.-Se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$\Delta T = \frac{R_{cal.} - R_{frío}}{R_{frío}} (235 + T_{amb.})$$

En esta relación intervienen los valores de las resistencias de los bobinados en frío y en caliente, así:

ΔT - Incremento de temperatura (calentamiento medio).
R_{cal} - Resistencia del devanado en caliente.
$R_{frío}$ - Resistencia del devanado en frío.
$T_{amb.}$ - Temperatura ambiente.

Durante el ensayo en carga, del motor shunt, se hará un seguimiento de los valores que toma la temperatura, a lo largo del tiempo. Los valores de temperatura obtenidos se anotarán en la tabla de la figura 6.33., haciendo funcionar el motor con carga nominal y partiendo de temperatura ambiente.

t	0	5'	10'	15'	20'	25'	30'
°C							

Figura 6.33. Tabla de temperaturas tomadas a intervalos de 5 y 10 minutos.

Los datos obtenidos pueden representarse en el gráfico de la figura 6.34.

Figura 6.34. Gráfico de temperaturas.

6.9. Informe de los ensayos realizados

Una vez realizado cualquier ensayo, es necesario redactar una memoria en la que quede constancia de:

- El material empleado, indicando sus características relevantes.
- Los datos obtenidos, reflejando la tabla o tablas correspondientes.
- Los cálculo que haya sido necesario hacer.
- Representación gráfica de las curvas correspondientes.
- Y las conclusiones a que se ha llegado, haciendo todas aquellas observaciones que se estime oportuno.

6.10. Normas de seguridad aplicables

Las normas de seguridad e higiene, son fundamentales en los trabajos con las máquinas eléctricas. Entre otras, las más básicas son dos:

- Cortar la energía eléctrica antes de tocar los circuitos.
- Manipular en las máquinas y sus circuitos, sólo cuando se esté seguro de lo que se quiere hacer.

Las normas mínimas de seguridad las marcan los distintos Reglamentos aplicables en cada caso, así le afectará el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión o el Reglamento de Alta Tensión dependiendo del tamaño de la máquina.

Pero además de los Reglamentos mencionados, es necesario observar y cumplir la legislación de seguridad y salud aplicable en cada lugar de trabajo donde se encuentre instalada la máquina, y que le afectará en determinados aspectos, por tanto no se puede hablar de unas normas concretas y directas que afecten sólo a máquinas de corriente alterna, sino de una legislación de seguridad y prevención de riesgos, algunas de las cuales se relacionan a continuación.

- Real Decreto 1495/1986, de 26 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad en las Máquinas (B.O.E. 21.07.86) y modificaciones por R.D. 590/1989, de 19 de mayo (B.O.E. 03.06.89) Y R.D. 830/1991, de 24 de mayo (B.O.E. 31.05.91).
- Orden Ministerial de 8 de abril de 1991 por la que se aprueba la ITC-MSG-SM del Reglamento de Seguridad en Máquinas, referente a máquinas, elementos de máquinas o sistemas de protección usados (B.O.E. 11.04.91).
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales (B.O.E. 10.11.95).
- Real Decreto 485/1997, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo (B.O.E. 23.04.97).
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo (B.O.E. 23.04.97).
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización de los trabajadores de equipos de protección individual (B.O.E. 12.06.97).
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo (B.O.E. 07.08.97).

Actividades de taller propuestas

Al menos deben hacerse dos ensayos de los estudiados, preferentemente uno de vacío y otro de carga a la dinamo de excitación independiente.

Respecto a los motores, debe hacerse los ensayos correspondientes a variación de velocidad.

Autoevaluación

1- Dibujar el esquema de conexiones necesario para hacer el ensayo de vacío a la dinamo de excitación independiente.

2- Explica el significado de la curva de vacío de una dinamo.

3- Dibujar el esquema de conexiones necesario para hacer el ensayo de carga de una dinamo de excitación independiente.

4- Explica el proceso a seguir para hacer el ensayo de carga de una dinamo de excitación shunt.

5- Dibuja el esquema de conexiones de la dinamo auto-excitada en derivación.

6- Explica en qué consiste la características de velocidad en los motores de c.c.

7- Explica las razones de la importancia del par motor.

8- Dibujar el esquema de conexión necesario para el arranque del motor de excitación shunt.

9- Relaciona los apartados de medidas necesarios, para hacer un ensayo de par al motor de excitación serie.

10- Explica qué medidas de seguridad tienes en cuenta al hacer los ensayos.

Máquinas de corriente alterna y sus bobinados

Introducción

Las máquinas eléctricas de corriente alterna, son las responsables en gran medida del desarrollo de la industria, por su gran robustez y flexibilidad a las variaciones de carga. Son máquinas fáciles de maniobrar y por tanto adecuadas para dar un gran servicio en ambientes industriales.

Entre las máquinas eléctricas de c.a., hemos de distinguir entre generadores y motores.

Los generadores o alternadores, son los encargados de transformar la energía mecánica que reciben por su eje, (procedente de motores de explosión, turbinas, etc.), en energía eléctrica en forma de corriente alterna, para ser utilizada en sus múltiples aplicaciones.

Los motores, al contrario que los generadores, transforman la energía en forma de corriente alterna que reciben en sus bornes, en energía mecánica, que aplicamos a nivel industrial o doméstico.

Contenido

- *Constitución de una máquina de C.A.*
- *Clasificación de los bobinados de las máquinas de C.A.*
- *Cálculo de los bobinados concéntricos trifásicos.*
- *Velocidad de los motores eléctricos de C.A.*
- *Ejemplos resueltos de bobinados concéntricos trifásicos.*
- *Bobinados de motores monofásicos con circuito arranque.*
- *Ejemplos resueltos bobinados monofásicos.*
- *Bobinados excéntricos.*
- *Ejemplos resueltos de los bobinados excéntricos de una y dos capas.*
- *Bobinados ondulados de corriente alterna.*
- *Ejemplos resueltos de bobinados ondulados trifásicos.*
- *Placa de bornas de una máquina de C.A.*
- *Actividades de taller propuestas.*
- *Autoevaluación.*

Objetivos

- *Conocer las diferencias entre alternadores y motores eléctricos.*
- *Interpretación y cálculos de los diferentes tipos de bobinados para máquinas de corriente alterna.*

7.1. Constitución de una máquina de corriente alterna

7.1.1. Alternador

Generador destinado a producir diferencia de potencial o tensión y corriente alterna. Consta fundamentalmente de:

- Rotor o parte móvil de la máquina, formado por una armadura ferromagnética, en el que se aloja el circuito inductor, formado por un arrollamiento alimentado por corriente continua, que se mueve a velocidad constante en el interior del inducido. Cuando los alternadores son de una potencia importante, los inductores pueden ser de polos salientes y en estos casos las velocidades de giro suelen oscilar entre 75 y 1.000 r.p.m. (245 r.p.m. en la central JOSÉ MARÍA DE ORIOL de Alcántara).
- Estator o parte fija de la máquina, formada por chapas troqueladas y apiladas formando ranuras, en cuyo interior se aloja el circuito inducido, unidos entre sí a efecto de formar arrollamientos monofásicos o trifásicos. El campo magnético giratorio, producido por el rotor, induce en los bobinados del estator, fuerzas electromotrices alternas cuya frecuencia, en Hz, depende de la velocidad, en (r.p.m.) y del número de pares de polos de la máquina, como puede observarse en la siguiente expresión:

$$f = \frac{p \cdot N}{60} \quad \begin{cases} \text{N} - \text{r.p.m.} \\ \text{f} - \text{Hz} \\ \text{p} - \text{pares de polos} \end{cases}$$

- Colector de anillos, formado por dos anillos sobre los que frotan las escobillas, por donde se le suministra la corriente continua de excitación, al bobinado inductor.

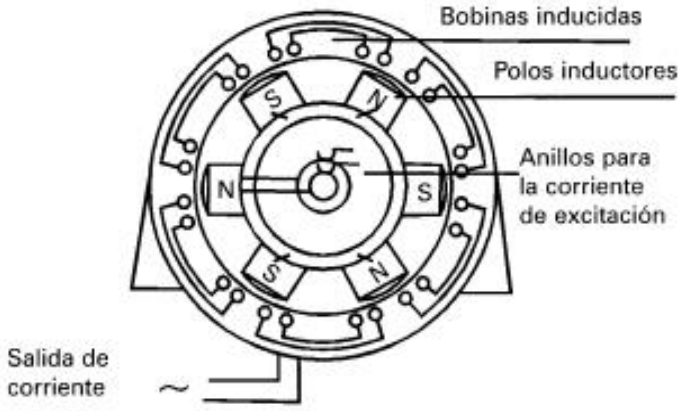


Figura 7.1. Partes fundamentales de un alternador.

7.1.2. Motores

Se compone de dos partes principales: estator y rotor. Constructivamente son similares a los generadores.

- El estator consiste en una carcasa de fundición y un núcleo formado por chapas magnéticas troqueladas y apiladas formando ranuras, en las que se alojan las bobinas que forman el circuito inductor.

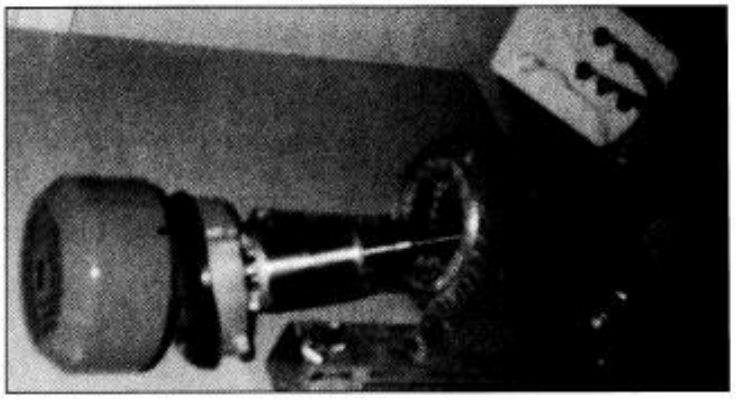
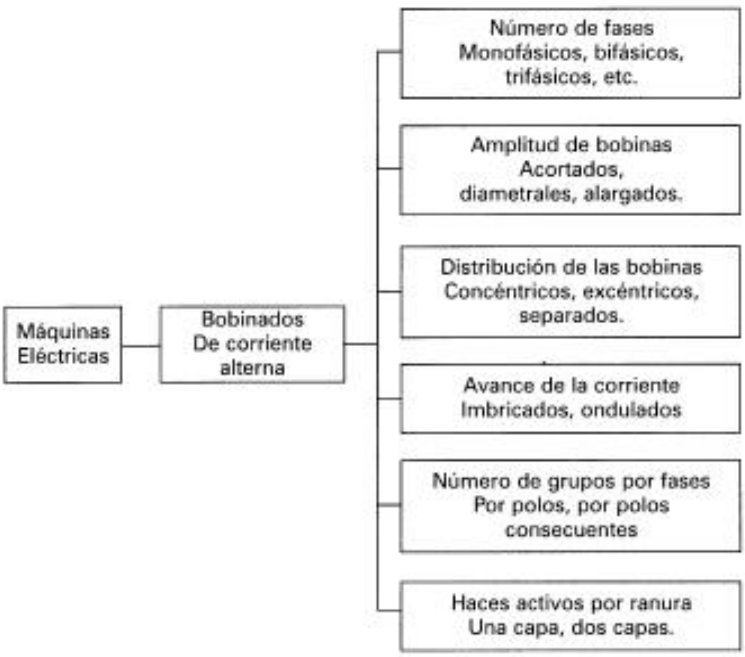


Figura 7.2. Aspecto de las partes de un motor de c. a.

El rotor está formado por un núcleo de chapas magnéticas ajustado a presión sobre el eje. El circuito inducido puede ser del tipo de jaula de ardilla, a base de barras y anillos de aluminio fundidos conjuntamente en el núcleo, o bien bobinados y terminados en anillos, sobre los que frotan las escobillas.

7.2. Clasificación de los bobinados de las máquinas de C.A.

Los devanados de corriente alterna pueden clasificarse atendiendo a múltiples factores, como son: forma, número de fases, paso de bobina, etc.



Todos los bobinados de c.a. han de cumplir dos condiciones fundamentales, serán en tambor y abiertos.

Devanados en tambor.– son aquéllos que llevan sus dos haces activos en la periferia de la armadura y en ranuras que estén bajo polos de distinto nombre para que sus efectos se sumen.

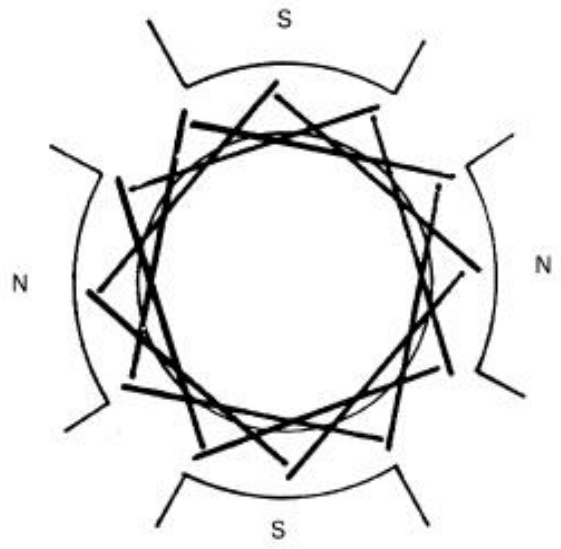


Figura 7.3. Devanado en tambor. Haces activos bajo polos de distinto nombre.

Devanados abiertos.– Son aquéllos en que las bobinas de cada fase van unidas entre sí, pero dejan libre el principio de la primera y el final de la última, extremos éstos, que irán conectados a la placa de bornes.

7.2.1. En función del número de fases

Los devanados pueden de ser:

Monofásicos.– Cuando van alimentados por una fase. Tendrán una entrada y una salida solamente. (Ejemplo de ello es, el motor con aspira en cortacircuito).

Bifásicos.– Llevan dos grupos de bobinas separados noventa grados eléctricos y se alimentan por dos fases. (Ejemplo; el motor de fase partida).

Trifásicos.– Tienen tres grupos de bobinas separadas entre el 120 ° eléctricos y serán alimentados por un sistema trifásico.

7.2.2. Atendiendo a la amplitud de las bobinas

Los bobinados pueden ser:

Acortados.– Cuando la amplitud, (ranuras que quedan libres en el interior de los haces activos de una bobina) es menor que el paso polar, (distancia entre los ejes de polos consecutivos).

Diametrales.– Las bobinas tienen una amplitud igual al paso polar.

Alargados.– Cuando la amplitud de la bobina es mayor que el paso polar.

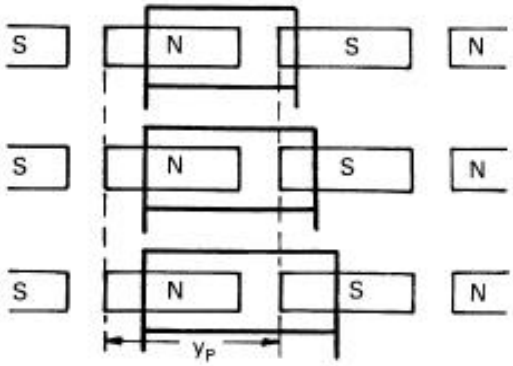


Figura 7.4. Amplitud de bobinas.

7.2.3. Según la distribución de las bobinas

Los devanados pueden ser:

Concéntricos.– Son aquéllos que están formados por bobinas de distinta amplitud, de forma que cada una rodea a la siguiente.

Excéntricos.– Cuando están formados por bobinas iguales, desplazadas una con respecto a otras, en uno u otro sentido.

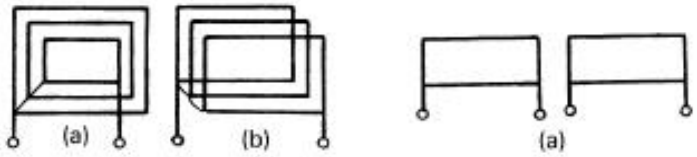


Figura 7.5. Bobinados concéntricos (a), excéntricos (b) y separados (c).

Separados.– En ésta las bobinas no tienen ranuras comunes y van situadas en distintas posiciones.

7.2.4. Teniendo en cuenta el sentido de avance de la corriente

Los bobinados pueden ser:

Imbricados.– Cuando la corriente avanza o retrocede *en* sentido espiral.

Ondulados.– Si la corriente tiene sentido de avance o retroceso continuo en forma de onda.

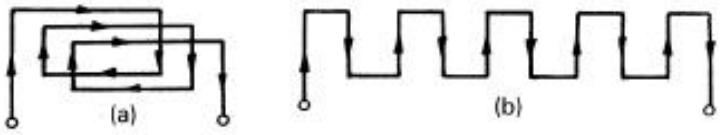


Figura 7.6. Bobinados imbricados (a) y ondulados (b)

7.2.5. En función del número de grupos por fase

Los devanados serán:

Por polos.– Es por polos cuando el número de grupos por fase es igual al número de polos de la máquinas y se conectan; final con final (f,f) y principio con principio (p,p) **(G = 2p).**

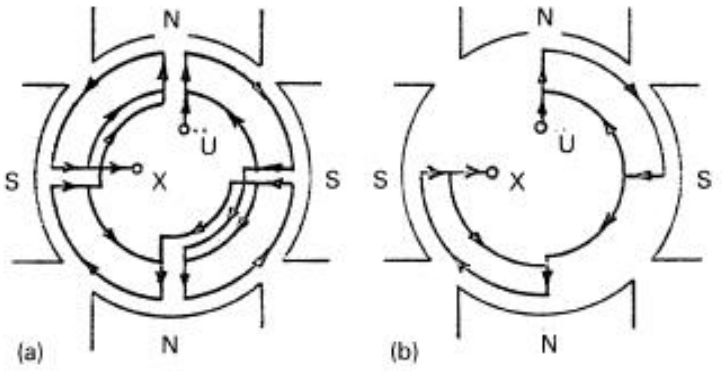


Figura 7.7. Tipos de devanados. a) Por polos. b) Por polos consecuentes

Por polos consecuentes.– Un devanado es por polos consecuentes cuando el número de grupos por fase, es la mitad que el nº de polos de la máquina, y también igual al número de pares de palos G = p. Sus grupos de bobinas se conectarán final con principio (f,p) y final con principio (f,p).

7.2.6. En función del número de haces activos por ranura

Los bobinados pueden ser:

De una capa.– Cuando en cada ranura sólo se aloja un haz activo y el número de bobinas del devanado, es la mitad que el número de ranuras B = K/2.

De dos capas.– Cuando en cada ranura se alojan dos haces activos, correspondientes a bobinas distintas y el número de bobinas, es igual al número de ranuras de la máquina, B = K.

7.3. Cálculo de los bobinados concéntricos trifásicos

Para calcular un bobinado concéntrico se han de considerar los siguientes puntos:

1- Datos necesarios para calcularlo.

2- Posibilidad de ejecución.

3- Número de grupos del bobinado.

4- Número de bobinas por grupo.

5- Número de ranuras por polo y fase.

6- Amplitud de grupo.

7- Paso de principios.

8- Tabla de principios.

Veamos a continuación cómo desarrollar cada una de estos apartados para la resolución de un bobinado.

7.3.1. Datos necesarios

a) nº de ranuras.

b) nº de polos (2p).

c) nº de fases (q).

d) ¿Por polos o por polos consecuentes?

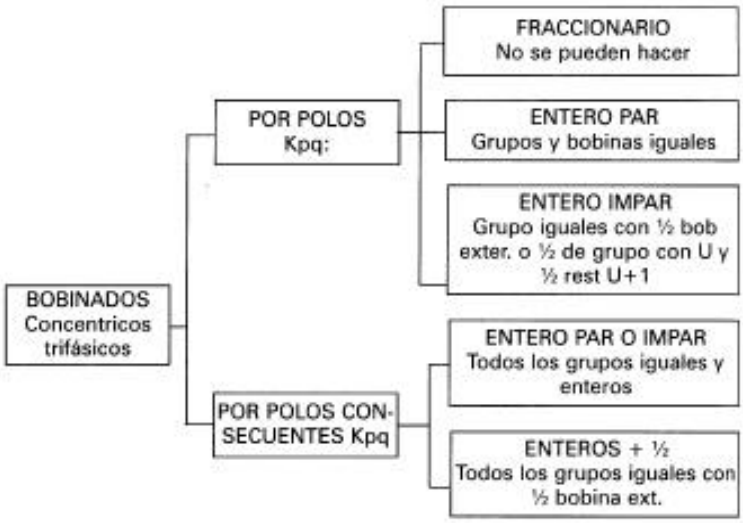
e) El nº de bobinas B = K/2. Esta clase de bobinados sólo se hacen de una capa, salvo algunas excepciones que veremos más adelante.

7.3.2. Posibilidad de ejecución

Sólo será posible la ejecución del bobinado, cuando el número de ranuras por polo y fase *Kpq*, sea un número entero.

$$Kpq = \frac{K}{2pq} = n^o\ entero$$

Pero el número de ranuras por polo y fase *Kpq*, puede ser entero par o entero impar, lo que dará lugar a las circunstancias que aparecen en el siguiente esquema:



7.3.3. Número de grupos del bobinado

Se ha de distinguir si el bobinado será ejecutado por polos o por polos consecuentes.

Bobinado por polos, Gf = 2p, el nº, de grupos totales es, G = 2pq.

Bobinado por polos consecuentes, Gf = p, el nº total es, G = pq.

7.3.4. Número de bobinas por grupo

El número de bobinas que componen cada grupo se calcula aplicando la siguiente relación:

$$U = \frac{K}{2 \cdot G}$$

Y teniendo siempre en cuenta que el número de grupos de un bobinado es diferente, dependiendo de que esté conectado por polos o por polos consecuentes, sustituyendo "G" por su valor en la relación anterior, nos queda:

Conexión por polos. $U = \frac{K}{2 \cdot G} = \frac{K}{2 \cdot 2 \cdot p \cdot q} = \frac{K}{4 \cdot p \cdot q} = \frac{Kpq}{2}$

Conexión por polos consecuentes.

$$U = \frac{K}{2 \cdot G} = \frac{K}{2 \cdot p \cdot q} = Kpq$$

7.3.5. Número de ranuras por polo y fase

Es el nº, de ranuras que en cada polo del bobinado, ocupa una fase, (el nº de ranuras del mismo color, si el devanado se dibuja con diferentes colores).

$$K_{pq} = \frac{K}{2pq}$$

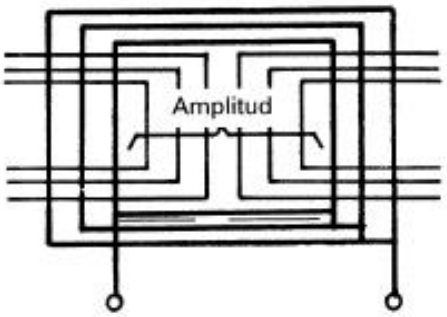


Figura 7.8. Amplitud de grupo de un bobinado

7.3.6. Amplitud de grupos

Se denomina amplitud de grupo, al número de ranuras que quedan libres en el interior de un grupo de bobinas, destinadas a las bobinas de las fases restantes, como puede observarse en la figura 7.8, la amplitud es 6. Para su cálculo también resultan diferentes fórmulas, dependiendo de la conexión que se realice. Así la fórmula general es:

$$m = (q - 1) \cdot Kpq$$

Pero al sustituir *Kpq* por su valor, queda que para:

Conexión por polos: $m = (q - 1) \cdot 2 \cdot U$

Conexión por polos consecuentes: $m = (q - 1) \cdot U$

7.3.7. Paso de principios

Se calcula por la siguiente relación para los bobinados trifásicos:

$$Y_{120} = \frac{K}{3p}$$

7.3.8. Tabla de principios

Ésta se cumplimenta una vez conocido el paso de principios, siguiendo el siguiente orden, reflejado en la tabla.

FASE U	FASE V	FASE W
1	$1 + Y_{120}$	$(1 + Y_{120}) + Y_{120}$
$(1 + 2Y_{120}) + Y_{120}$	$(1 + 3Y_{120}) + Y_{120}$	$(1 + 4Y_{120}) + Y_{120}$
"	"	"

Con estos datos obtenidos, tenemos las diferentes ranuras, desde las que podemos sacar los principios de las diferentes fases, U, V y W.

7.4. Velocidad de los motores eléctricos de C.A.

La velocidad del motor eléctrico depende directamente de la frecuencia de la corriente de alimentación y del número de polos que tenga su bobinado inductor. Así, las r.p.m.(revoluciones por minuto) serán:

$$n = \frac{f \cdot 60}{p}$$

Velocidad ésta, que corresponde a la del campo magnético giratorio, siendo la del eje del motor ligeramente inferior.

7.5. Ejemplos resueltos de bobinados concéntricos trifásicos

7.5.1. Calcular y dibujar el esquema correspondiente al bobinado cuyos datos son: nº de ranuras (K = 24), nº de polos (2p = 4), nº de fases (q = 3), el bobinado será concéntrico y su conexión por polos.

CÁLCULOS A REALIZAR:

Posibilidad de ejecución:

$$Kpq = \frac{K}{2pq} = \frac{24}{4.3} = 2$$

luego es posible, y teniendo en cuenta el esquema del apartado 7.3.2, todos los grupos serán iguales y también el número de espiras de sus bobinas.

Número de grupos del bobinado:

$$G = 2pq = 4.3 = 12 \text{ grupos}$$

Número de bobinas por grupo:

$$U = \frac{K}{4pq} = \frac{24}{4 \cdot 2 \cdot 3} = 1\text{bobina}$$

Amplitud:

$$m = (q - 1) \cdot 2 \cdot U = (3 - 1) \cdot 2 \cdot 1 = 4$$

Paso de principios:

$$Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{24}{3 \cdot 2} = 4$$

Tabla de principios:

U	V	w
1	5	9
13	17	21

En el momento de tomar los principios, hay que tener en cuenta si el bobinado se va a montar sobre estator o rotor. Sí se monta sobre estator, se cogen los principios más próximos a la placa de bornes. En el caso de hacerlo sobre rotor se buscarán puntos equidistantes, a fin de buscar el equilibrio.

Ejemplo: Estator U-1, V-5, W-9, o U-13, V-17, W-21
Rotor U-1, V-17, W-9, o U-13, V-5, W-21

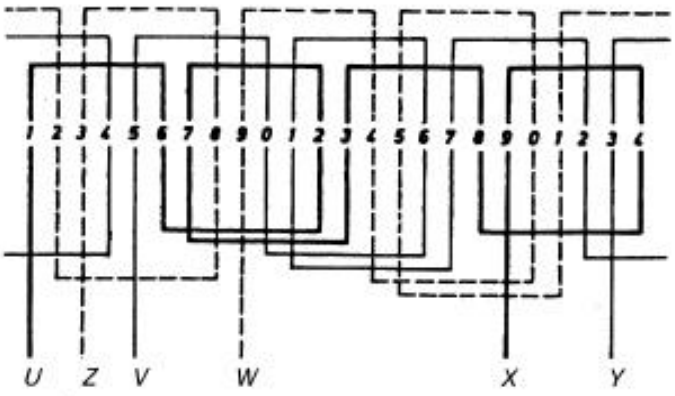


Figura 7.9. Esquema de bobinado concéntrico de 4 polos. Conexión por polos.

7.5.2. Con los mismos datos del ejemplo anterior, hacer los cálculos y el esquema para la conexión "por polos consecuentes".

CÁLCULOS A REALIZAR:

$$Kpq = \frac{K}{2pq} = \frac{24}{12} = 2$$

Se puede realizar con todos los grupos iguales.

$$G = p \cdot q = 2 \cdot 3 = 6$$

$$U = \frac{K}{2pq} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2; \qquad m = (q - 1) \cdot U = (3-1) \cdot 2 = 4$$

$$Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{24}{3 \cdot 2} = 4;$$

U	V	W
1	5	9
13	17	21

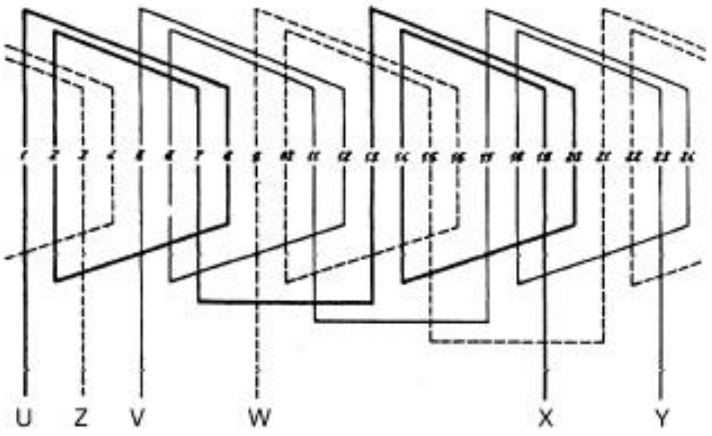


Figura 7.10. Esquema de bobinado concéntrico de 4 polos. Conexión por polos consecuentes.

7.6. Bobinados de motores monofásicos con circuito de arranque

Los bobinados de los motores monofásicos se convierten en realidad en bobinados bifásicos, puesto que no puede arrancar por sí sólo, por ello hemos de poner un circuito auxiliar o de arranque, que aunque sólo funcionen en el primer momento, hay que tenerlo en cuenta para su colocación como si fuera permanente.

Teóricamente los devanados de los motores monofásicos se podrán hacer de cualquiera de las formas que hemos visto para los trifásicos, pero por razones prácticas, solo se utilizan los bobinados por polos y concéntricos.

Las razones a que antes aludía son:

1- Son más sencillos de hacer y permite que el reparto de la armadura para los dos devanados no sea igual, es decir, podemos utilizar más ranuras para el devanado principal que para el auxiliar.

2- En los devanados por polos, el número de grupos de bobinas es mayor, lo que permite una distribución más uniforme.

3- Este tipo de devanados permite también, que las bobinas del devanado auxiliar y principal sean distintas en cuanto a número de espiras y sección, con lo que varía la reactancia y resistencia respectivamente, y con ello se puede conseguir el desfase requerido frente a las intensidades.

Dentro de las exigencias de concéntricos y por polos, los bobinados monofásicos, pueden ser separados o superpuestos.

7.6.1. Bobinados monofásicos separados

Este tipo de bobinado se ha estado utilizando mucho, aunque ahora se tiende hacia el empleo de los superpuestos.

En los devanados separados el campo resulta irregular, ya que es grande la concentración de bobinas en zonas muy concretas. Para aprovechar la carcasa al máximo, en lo que respecta al bobinado principal, se suele utilizar 2/3 de las ranuras totales y el otro 1/3, se deja para el devanado auxiliar o de arranque.

El proceso de cálculo a seguir, es el siguiente:

7.6.1.1. Número de bobinas por grupo del devanado principal

Por ser un devanado por polos y de una sola capa;

$$f = \frac{p \cdot N}{60} \qquad U = \frac{K}{4 \cdot p \cdot q}$$

pero como el número de ranuras para este devanado es 2/3 de K, tendremos que:

$$U = \frac{K}{4 \cdot p \cdot q} \cdot \frac{2}{3} = \frac{2K}{12 \cdot p \cdot q} = \frac{K}{6 \cdot p}$$, ya que $q = 1$.

7.6.1.2. Amplitud de grupos del devanado principal

Como ya hemos mencionado, es el número de ranuras que quedan libres, por polo, éstas son la tercera parte (1/3), luego a cada polo corresponden:

$$m = \frac{1}{3} \cdot K_{pq} = \frac{1}{3} \cdot \frac{K}{2 \cdot p \cdot q} = \frac{K}{6 \cdot p \cdot q} = \frac{K}{6 \cdot p}$$

La amplitud de grupos en este tipo de devanados será siempre igual al número de bobinas por grupo. Es decir:

$$m = U = \frac{K}{6 \cdot p}$$

7.6.1.3. Número de bobinas por grupo del devanado auxiliar

Por la misma razón que en el (apartado 7.6.1.1), aquí el número de ranuras que corresponde al devanado es 1/3 de K, luego:

$$U_a = \frac{1}{3} \cdot \frac{K}{4 \cdot p \cdot q} = \frac{K}{12 \cdot p \cdot q} = \frac{K}{12 \cdot p}$$

7.6.1.4. Amplitud de grupo del devanado auxiliar

En este caso, el número de ranuras correspondientes para este devanado, es 2/3, así:

$$m_a = \frac{2}{3} \cdot \frac{K}{2 \cdot p \cdot q} = \frac{2K}{6 \cdot p \cdot q} = \frac{K}{3 \cdot p \cdot q} = \frac{K}{3 \cdot p}$$

7.6.1.5. Paso de ciclo

$$Y_{360} = \frac{K}{p}$$

7.6.1.6. Paso de principios

$$Y_{90} = \frac{K}{4p}$$

7.6.1.7. Tabla de principios

Esta se confecciona de la siguiente forma:

PRINCIPIO "U"	PRINCIPIO "U_a"
1	$1 + Y_{90}$
$1+Y_{360}$	$(1+Y_{360})+Y_{90}$
$(1+Y_{360}) + Y_{360}$	$(1+2Y_{360}) + Y_{90}$

7.6.2. Bobinados monofásicos superpuestos

El cálculo de los devanados superpuestos es arbitrario y depende en gran medida, de los estudios prácticos hechos por los fabricantes. No obstante veamos algunas de las condiciones que deben reunir los bobinados, para que resulten realizables.

7.6.2.1 Bobinas por grupo y amplitud del bobinado principal

Se comienza asignando un número de bobinas por grupo principal, cuyo valor puede ser entero o entero más ½. Con este valor podremos determinar el número de ranuras ocupadas por el bobinado principal, que será: 2p.2U, (2U puesto que cada bobina ocupa dos ranuras) de ahí que el número de ranuras libres sea, (K-2p.2U), con lo que la amplitud del grupo principal será:

$$m = \frac{K - 2p \cdot 2U}{2p}$$

7.6.2.2. Bobinas por grupo y amplitud del bobinado auxiliar

Para el bobinado auxiliar, empezamos por adoptar el número de bobinas por grupo, valor que depende de la amplitud de grupo del devanado principal, así, si éste es par, el número de bobinas por grupo auxiliar ha de ser entero, si es impar, este número, será entero más ½, es decir que las medias bobinas exteriores de dos grupos consecutivos ocuparan la misma ranura.

Una vez adoptado el número de bobinas por grupo, se determina la amplitud de grupo, aplicando la siguiente relación:

$$m_a = \frac{K - 2p \cdot 2U_a}{2p}$$

7.6.2.3. Tabla de principios

La tabla de principios se resuelve igual que en los monofásicos separados, apartado 7.6.1.7.

7.7. Ejemplos resueltos bobinados monofásicos

7.7.1. Calcular y dibujar el esquema del bobinado cuyos datos son: K = 12, 2p = 2, q = 1, conexión por polos.

CÁLCULOS A REALIZAR:

$$U = m = \frac{K}{6p} = \frac{12}{6} = 2 \qquad U_a = \frac{K}{12 \cdot p} = \frac{12}{12} = 1$$

$$m_a = \frac{K}{3p} = \frac{12}{3} = 4$$

$$Y_{90} = \frac{K}{4p} = \frac{12}{4} = 3 \qquad Y_{360} = \frac{K}{p} = \frac{12}{1} = 12$$

U	U_a
1	4
13	16

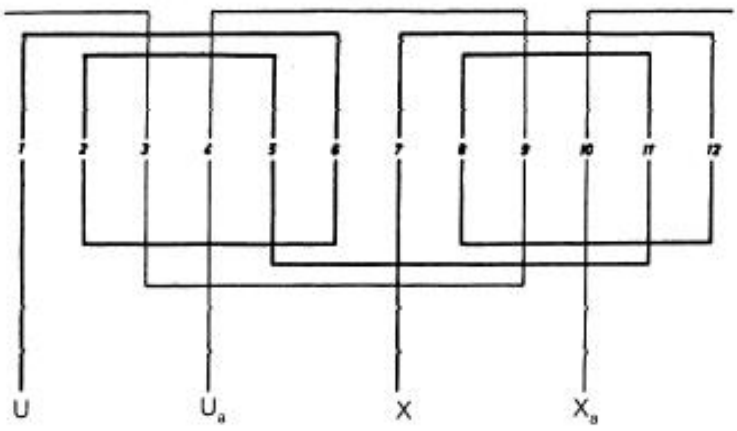


Figura 7.11. Esquema de bobinado concéntrico monofásico, 2p = 2.

7.7.2. Calcular y dibujar el esquema del bobinado cuyos datos son: K = 24, 2p = 4, q = 1, concéntrico y conexión por polos.

CÁLCULOS A REALIZAR:

$$U = m = \frac{K}{6p} = \frac{24}{12} = 2 \qquad U_a = \frac{K}{12p} = \frac{24}{24} = 1$$

$$m_a = \frac{K}{3p} = \frac{24}{6} = 4$$

$$Y_{360} = \frac{24}{2} = 12 \qquad Y_{90} = \frac{K}{4p} = \frac{24}{8} = 3$$

U	U_a
1	4
13	16

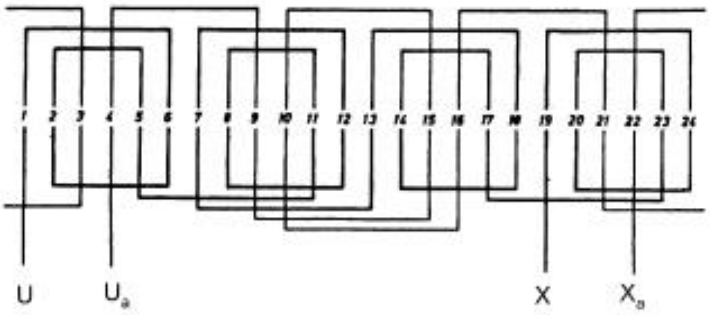


Figura 7.12. Esquema de bobinado concéntrico monofásico, 2p = 4.

7.7.3. Calcular y dibujar el esquema del bobinado cuyos datos son: K = 24, 2p = 4, q = 1, concéntrico, por polos, superpuesto.

CÁLCULOS A REALIZAR:

Si hacemos que cada grupo principal tenga (U = 2,5), calculemos ahora su amplitud de grupo:

$$m = \frac{K - 2p \cdot 2U}{2p} = \frac{24 - 4 \cdot 2 \cdot 2{,}5}{4} = 1$$

Teniendo en cuenta que "m" tiene valor impar, U_a ha de ser entero más ½, por ello, cada grupo auxiliar tendrá (U_a = 1,5).

$$m_a = \frac{K - 2p \cdot 2U_a}{2p} = \frac{24 - 4 \cdot 2 \cdot 1{,}5}{4} = 3$$

$$Y_{90} = \frac{K}{4p} = \frac{24}{8} = 8$$

$$Y_{360} = \frac{K}{p} = \frac{24}{2} = 12$$

U	U_a
1	4
13	16

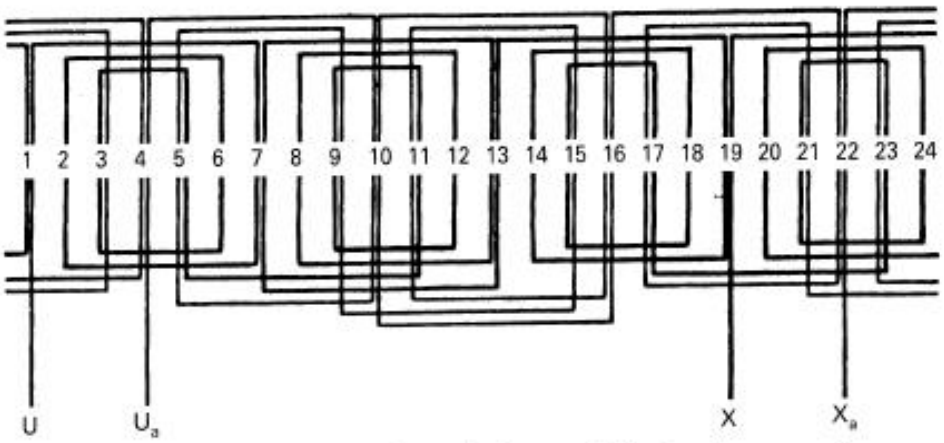


Figura 7.13. Esquema de bobinado concéntrico monofásico, 2p = 4, superpuesto.

7.8. Bobinados excéntricos

Se denominan excéntricos aquellos bobinados cuyas bobinas son iguales en tamaño y no tienen eje común, como ocurre en los concéntricos. Estos bobinados son normalmente realizados por polos.

Los bobinados excéntricos de c.a., pueden ser imbricados y ondulados, realizándose indistintamente, en una o dos capas por ranura.

7.8.1. Bobinados enteros y fraccionarios

Serán enteros o fraccionarios según que el número de bobinas por grupo, sea número entero o un número entero más una fracción.

$$U = \frac{B}{2p \cdot q}$$

Es preciso tener en cuenta que $\boldsymbol{B = K}$, en los bobinados de dos capas y $\boldsymbol{B = K/2}$, en los de una capa.

EJEMPLO. Un alternador trifásico de ocho polos, cuya armadura tiene 96 ranuras y está bobinado en dos capas. ¿Cómo será, entero o fraccionario?

$$U = \frac{B}{2p \cdot q} = \frac{96}{8 \cdot 3} = \frac{96}{24} = 4$$

En este caso ha resultado entero, pero y si la armadura tuviese 102 ranuras. ¿Qué ocurriría?

$$U = \frac{B}{2p \cdot q} = \frac{102}{8 \cdot 3} = \frac{102}{24} = 4{,}25 = 4\ y\ \frac{1}{4}$$

Es fraccionario.

7.8.2. Bobinados imbricados enteros de una capa

En los bobinados imbricados de una capa, cada lado activo de una bobina ocupa toda una ranura.

El paso de ranura ha de cumplir dos condiciones:

1- Será impar.

2- Será aproximado al paso polar.

Teniendo en cuenta estas dos condiciones, se han de seguir las siguientes reglas:

a) En bobinados trifásicos con paso polar impar. Se tomará: $Y_k = Y_p$ o $Y_k < Y_p$ en un número de ranuras par.

EJEMPLO. En un bobinado de, K = 54, 2p = 6, q = 3, una capa.

$$Y_p = \frac{K}{2p} = \frac{54}{6} = 9 \quad \text{Puede tomarse} \quad Y_k = Y_p = 9$$

o $Y_K < Y_p = 7$

b) En bobinados trifásicos con paso polar par. El ancho de bobina debe ser forzosamente acortado, a fin de conseguir un valor impar. El acortamiento será en un número impar de ranuras. Y_K no puede ser diametral, ($Y_K \neq Y_P$).

c) En los bobinados bifásicos con paso polar par. Se efectuará un acortamiento igual a los trifásicos,(apartado b).

d) Los bobinados bifásicos con paso polar impar. No se pueden hacer.

7.8.2.1. Cálculos para realizar el esquema de un bobinado imbricado de una capa

Los datos necesarios son: K-número de ranuras, 2p-número de polos, q-número de fases.

1- Se determina el número de bobinas por grupo.

$$U = \frac{B}{2p \cdot q}$$

2- Se calcula el paso polar y se elige el ancho de bobina Y_K teniendo en cuenta las reglas ya mencionadas.

3- Se confecciona el cuadro de principios siguiendo las normas dadas para los bobinados concéntricos.

4- Dibujar el esquema teniendo en cuenta que:

a) Los lados activos situados en ranuras sucesivas, han de tener sus cabezas dirigidas en distinto sentido.

b) Los lados activos cuyas cabezas van en el mismo sentido, (hacia la derecha por ejemplo) deben ser agrupadas en grupos de "U" bobinas de la misma fase.

7.8.3. Bobinados imbricados enteros de dos capas

También llamado americano, se hace con todas las bobinas iguales, entrando en cada ranura dos lados activos de bobinas distintas.

Entre ambos lados activos de una ranura, existe una elevada tensión o diferencia de potencial, por lo que es necesario aislar una bobina de otra.

Para los bobinados imbricados de dos capas no existe condición que imponga un determinado valor al ancho de bobina o paso de ranura, pudiendo éste ser elegido diametral o acortado, según convenga.

En los bobinados bipolares, es muy corriente acortar el ancho de bobina con objeto de reducir el tamaño de las cabezas de las bobinas y facilitar su colocación en la armadura.

7.8.3.1. Cálculos para realizar el esquema de un bobinado imbricado de dos capas

Como ya comentamos en el apartado (7.10.1), en estos bobinados $B = K$, teniendo en cuenta esto, se procede en el siguiente orden:

1- Se determina el número de bobinas por grupo,

$$U = \frac{B}{2p \cdot q}$$

valor que debe ser entero para que también lo sea el bobinado.

2- El paso polar será:

$$Y_P = \frac{K}{2p}$$

en función de éste se elige el ancho de bobina Y_K .

3- La tabla de principios se confecciona de igual forma que los bobinados trifásicos anteriores.

4- La conexión de los bobinados se hará por polos.

7.9. Ejemplos resueltos de los bobinados excéntricos de una y dos capas

7.9.1. Calcular y dibujar el esquema del bobinado cuyos datos son: K = 12, 2p = 2, q = 3, una capa, conexión por polos.

CÁLCULOS A REALIZAR:

$$B = \frac{K}{2} = \frac{12}{2} = 6 \qquad G = 2p \cdot q = 2 \cdot 3 = 6$$

$$U = \frac{B}{G} = \frac{6}{6} = 1$$

$$K_{pq} = \frac{K}{2pq} = \frac{12}{6} = 2 \qquad Y_P = \frac{K}{2p} = \frac{12}{2} = 6$$

Acortando en una unidad Y_P , queda que $Y_K = 5$

$$Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{12}{3} = 4$$

U	V	W
1	5	9

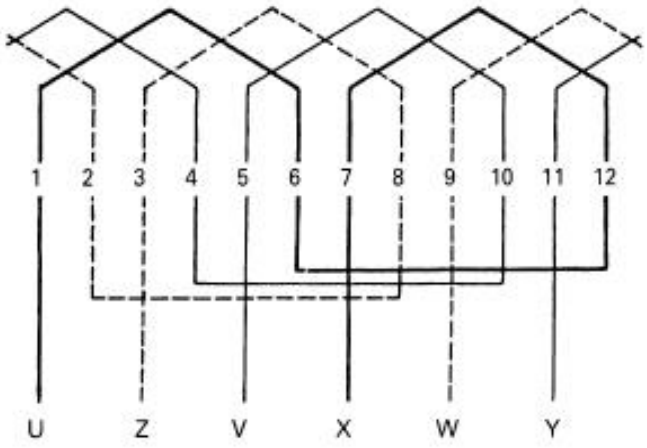


Figura 7.14. Esquema de bobinado trifásico, 2p = 2, una capa.

7.9.2. Calcular y dibujar el esquema del bobinado cuyos datos son: K = 36, 2p = 6, q = 3, una capa (K/2), conexión por polos.

CÁLCULOS A REALIZAR:

$$G = 2p \cdot q = 6 \cdot 3 = 18 \qquad U = \frac{B}{G} = \frac{18}{18} = 1$$

$$K_{pq} = \frac{K}{2p \cdot q} = \frac{36}{18} = 2$$

$$Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{36}{9} = 4 \qquad Y_P = \frac{K}{2p} = \frac{36}{6} = 6$$

Se acorta en una cifra impar, en este caso en uno, de donde $Y_K = 5$.

U	V	W
1	5	9
13	17	21
25	29	33

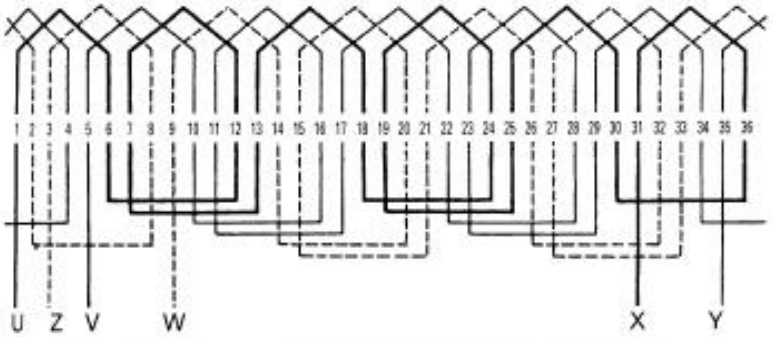


Figura 7.15. Esquema de bobinado trifásico 2p = 6, una capa.

7.9.3. Calcular y dibujar el esquema del bobinado cuyos datos son: K = 18, 2p = 2, q = 3, B = K, bobinado imbricado, realizado por polos.

CÁLCULOS A REALIZAR:

$$G = 2p \cdot q = 2 \cdot 3 = 6 \qquad U = \frac{B}{2pq} = \frac{18}{2 \cdot 3} = 3$$

$$K_{pq} = \frac{K}{2pq} = U = 3 \qquad Y_P = \frac{K}{2p} = \frac{18}{2} = 9$$

Tomando como paso de ranura $Y_K = 8$

$$Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{18}{3} = 6$$

U	V	W
1	7	13

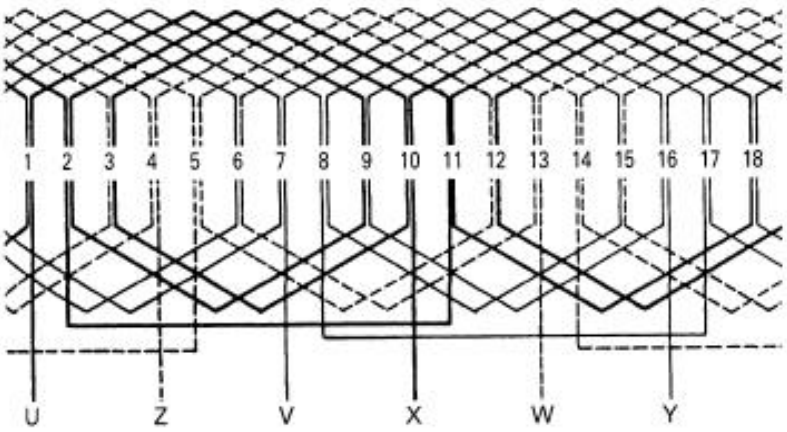


Figura 7.16. Esquema de bobinado imbricado trifásico 2p =2, dos capas.

7.9.4. Calcular y dibujar el esquema del bobinado cuyos datos son: K = 24, 2p = 4, q = 3, B = K, conexión por polos.

CÁLCULOS A REALIZAR:

$$G = 2pq = 4 \cdot 3 = 12 \qquad K_{pq} = \frac{K}{2pq} = \frac{24}{12} = 2$$

$$U = \frac{B}{2pq} = \frac{24}{12} = 2$$

$$Y_P = \frac{K}{2p} = \frac{24}{4} = 6$$

Si tomamos como paso de bobina $Y_K = 6$, tendremos un bobinado diametral.

$$Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{24}{6} = 4$$

U	V	W
1	5	9
13	17	21

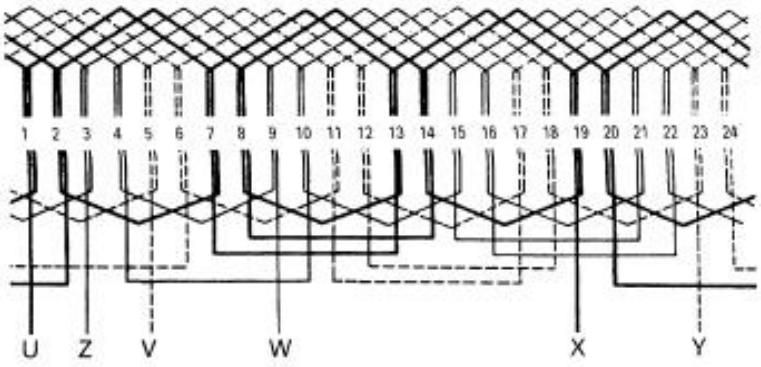


Figura 7.17. Esquema de bobinado trifásico, 2p = 4, diametral de dos capas.

7.10. Bobinados ondulados de corriente alterna

Este tipo de bobinados suele ser de dos capas e ir conectado "por polos". Se emplea en todos aquellos bobinados en que la intensidad suele ser alta, tanto en estatóricos como rotóricos.

Las ventajas de los bobinados ondulados estriban en su ejecución práctica, lo que justifica su utilización en los bobinados de gran potencia. Estas ventajas son:

1- Se reducen las conexiones entre grupos, que suele ser, el puente de retorno.

2- La distribución geométrica de las cabezas de bobinas, es más uniforme que con otros tipos, lo cual es importante en los bobinados rotóricos para mejorar el equilibrado dinámico.

7.10.1. Bobinados ondulados enteros y fraccionarios

El primer valor que hemos de conocer de un bobinado es su número de bobinas por grupo, que se calcula por la siguiente fórmula ya conocida:

$$U = \frac{B}{2pq}$$

El bobinado sólo es posible ejecutar si el valor calculado es un número entero o entero más media unidad.

De acuerdo con este valor, podemos encontrarnos con bobinados que tienen un número de bobinas diferente, en los grupos

pares, que en los impares. En base a lo dicho, los devanados ondulados se dividen en enteros y fraccionarios.

1- Enteros. En ellos el número de bobinas por grupo (U), es entero y por tanto todos los grupos son iguales y ello permite la disposición de dos circuitos paralelos, formados por los grupos pares (progresivos) e impares (regresivos), que tiene igual número total de bobinas.

2- Fraccionarios. En ellos el número de bobinas por grupo resulta un número entero, más un medio. Las bobinas en este caso se reparten de forma que los grupos pares tienen U+1/2 bobinas y los impares U-1/2 bobinas. Por tanto, sólo es posible conectarlos en serie, ya que no son iguales la parte progresiva y regresiva.

7.10.2. Cálculos necesarios para hacer el esquema de un bobinado ondulado

En estos bobinados sus dos pasos parciales son positivos, ya que tanto al saltar el ancho de bobina, como el paso de conexión, se avanza en la periferia y da como paso resultante:

$$Y = Y_1 + Y_2$$

En los bobinados ondulados de corriente alterna, el número de bobinas tiene que ser múltiplo del número de pares de polos, de ahí que el valor del paso resultante sea:

$$Y = \frac{B}{p}$$

Pero hemos de tener en cuenta que, al recorrer toda la periferia del bobinado observando este paso, iremos a parar a la ranura de la que partimos y con ello quedaría cerrado el bobinado, sin que pueda continuarse haciendo las bobinas restantes de la misma fase. Para evitar el cierre, se tomará una unidad mayor o menor del paso en la última conexión, de esta forma se terminará en la ranura siguiente o en la anterior de la que partió.

Para realizar los cálculos seguiremos el siguiente orden:

1- Posibilidad de ejecución, $U = \frac{B}{2pq}$

2- Paso resultante, su valor debe ser entero, $Y = \frac{B}{p}$

3- Se elige el ancho de bobina o paso de ranura Y_K de acuerdo con el valor del paso polar Y_p.

4- El paso de conexión normal será, $Y_2 = Y - Y_K$ el paso anormal de conexión se hará generalmente, una unidad mayor que el normal.

5-Se calcula el paso de principio Y_{120} y se confecciona la tabla de principios.

7.11. Ejemplos resueltos de bobinados ondulados trifásicos

7.11.1. Calcular y dibujar el esquema de un bobinado ondulado cuyos datos son: K = 48, 2p = 8, q = 3.

CÁLCULOS A REALIZAR:

$$U = \frac{B}{2pq} = \frac{48}{8 \cdot 3} = 2$$

$$Y = \frac{K}{p} = \frac{48}{4} = 12$$

$$Y_p = \frac{K}{2p} = \frac{48}{8} = 6$$

Si se toma como ancho de bobina $Y_K = 6$, el paso de conexión será $Y_2 = Y - Y_K = 12 - 6 = 6$. Tomaremos como paso anormal 7, lo que dará lugar a un bobinado cruzado.

$$Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{48}{3x4} = 4$$

Tabla de principios:

U	V	W
1	5	9
13	17	21
25	29	33
37	41	45

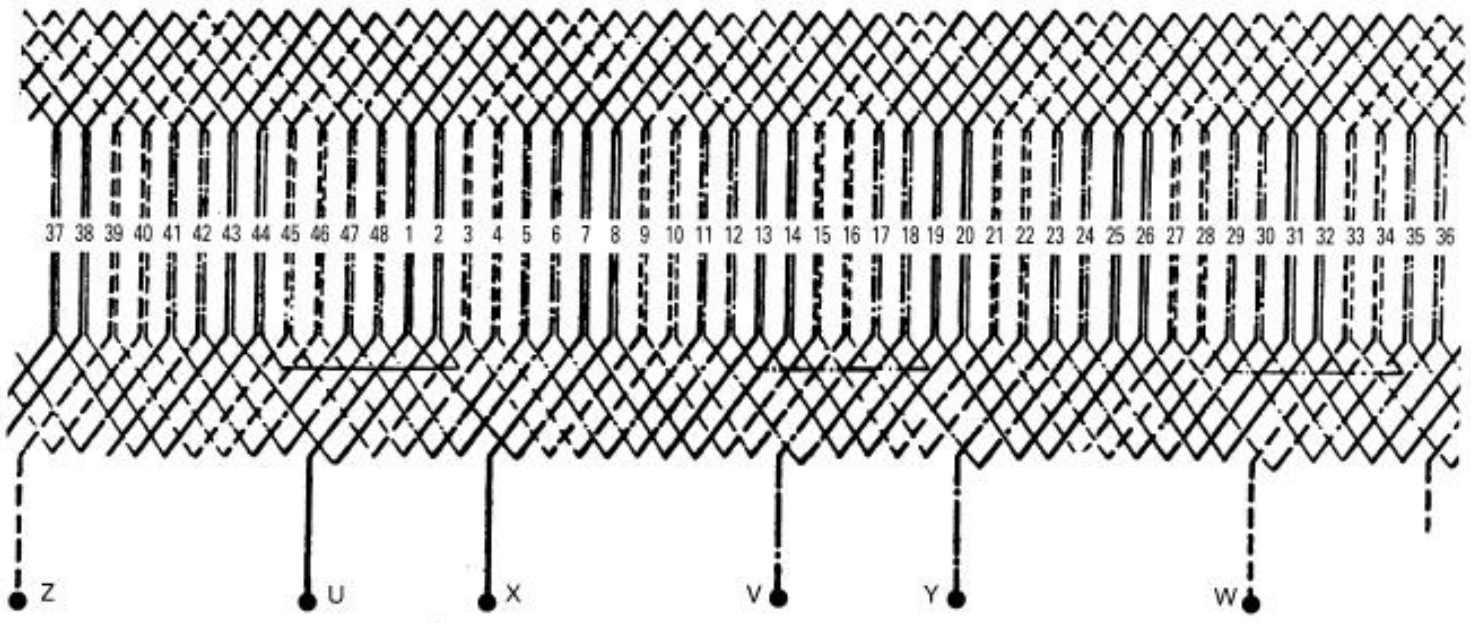


Figura 7.18. Esquema de bobinado ondulado trifásico de 2p = 8.

7.12. Placa de bornas de una máquina de C.A.

Como toda máquina eléctrica, también las de c.a., van provistas de una placa de material aislante, en la que están dispuestos un número determinado de tornillos o elementos de fijación, donde asir las terminaciones de los diferentes circuitos de que disponga la máquina. La disposición de estos tornillos o bornas debe tener una disposición normalizada, para que todos podamos entenderla.

La disposición normalizada es la siguiente, para cada una de sus fases:

ANTIGUA	NUEVA	CIRCUITO AL QUE CORRESPONDE
U-X	U1-U2	BOBINADO FASE "R"
V-Y	V1-V2	BOBINADO FASE "S"
W-Z	W1-W2	BOBINADO FASE "T"

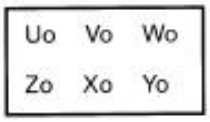


Figura 7.19. Placa de bornas normalizada para una máquina de c.a. trifásica.

Actividades de taller propuestas

1- Tomar nota de las indicaciones de la placa de características de un alternador.

2- Abrir el alternador del que hemos tomado sus datos y observar sus partes, haciendo una relación de ellas lo más detallada posible.

3- Repetir el proceso de los apartados 1 y 2, con un motor de fase partida, destacando la diferencia entre sus devanados.

Autoevaluación

1- Define las partes de un motor de corriente alterna.

2- Explica la diferencia entre motor y generador de c.a.

3- Tipos de inducidos que puede tener un motor trifásico.

4- Calcular el número de polos que tendrán los siguientes motores;

Motor 1.- 2 CV, 220 V, trifásico, 1500 r.p.m. 50 Hz.

Motor 2.- 1 CV, 220 V, monofásico, 50 Hz, 3000 r.p.m.

5- Calcular y dibujar el bobinado cuyos datos son: K = 24, q = 3, r.p.m. = 3000, conexión por polos.

6- Calcular y dibujar el esquema del bobinado cuyos datos son:

K = 18, 2p = 4, q = 1, conexión por polos consecuentes.

7- Dibujar el esquema del bobinado cuyos datos son: K = 24, 2p = 4, q = 1, conexión por polos superpuesto.

8- Calcular y dibujar el esquema del bobinado cuyos datos son:

K = 18, 2p = 2, q = 3, imbricado de dos capas.

9- Explica las diferencias entre un devanado concéntrico y un imbricado.

10- ¿Qué es un devanado superpuesto?

reparación de máquinas eléctricas de corriente alterna

Introducción

Las máquinas en el desarrollo de su trabajo durante varias horas, sufren calentamientos y sobre esfuerzos, que van dando lugar a desgastes.

El desgaste se acentúa cada vez más, si no se corrigen los pequeños defectos que van apareciendo, lo antes posible. A la corrección de pequeños defectos, antes de que den lugar a las averías, se les llama mantenimiento preventivo.

Contenido

- *Interpretación de los programas de mantenimiento de las máquinas de C.A.*
- *Útiles, aparatos y herramientas a utilizar en el mantenimiento preventivo de máquinas de C.A.*
- *Secuencia de operaciones que requiere el mantenimiento preventivo.*
- *Rebobinado de las máquinas de C.A.*
- *Informe de trabajo realizado.*
- *Rebobinado para modificar características de tensión, frecuencia y velocidad.*
- *Normas de seguridad aplicables.*
- *Actividades de taller propuestas.*
- *Autoevaluación.*

Objetivos

- *Conocer el proceso a seguir en mantenimiento preventivo.*
- *Practicar la reparación de máquinas de c.a.*
- *Rebobinar diferentes tipos de bobinados.*

8.1. Interpretación de los programas de mantenimiento de las máquinas de C.A.

El mantenimiento ha de realizarse de forma preventiva y por tanto, sin necesidad de que la máquina presente ningún tipo de avería. Para ello se fijará una periodicidad de revisiones, que estará en función del número de horas de trabajo de la máquina y que podría oscilar entre 1.500 y 2.000 horas.

En cada revisión se hará un chequeo de las partes sometidas a más desgaste y por tanto más propensas a sufrir deterioros, así como una revisión del estado general de la máquina, de todo ello se tomará nota en un cuadrante, donde además se anotará si es necesario cambiar piezas y la fecha en que se hace la sustitución. Todas las fichas de revisiones serán archivadas con una referencia impresa para cada máquina, de forma que podamos conocer en cualquier momento su historial. La ficha podría contener los apartados reflejados en la figura 8.1.

LOGOTIPO EMPRESA	**REVISIONES PERIÓDICAS DE MÁQUINAS DE C.A.**
MARCA MÁQUINA: _____	FECHA: _____
TIPO: _____	SERVICIO EN: _____
Nº FABRICANTE: _____	**ROTÓRICO**
POTENCIA: _____	TENSIÓN: _____ INTENSIDAD: _____ TEMP: ___
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	**ESTATÓRICO**
ESTATOR: _____	TENSIÓN: _____ INTENSIDAD: _____ TEMP: ___
ROTOR: _____	COJINETES: _____
ELEMENTOS A SUSTITUIR:_	FIJACIÓN: _____
_____	ESTADO ESCOBILLAS: _____
_____	ESTADO COLECTOR: _____
_____	
OBSERVACIONES:	LUGAR Y FECHA: .....
	Firma
	TÉCNICO: .....

Figura 8.1. Ficha resumen de revisiones, a máquinas de c.a.

8.2. Útiles, aparatos y herramientas a utilizar en el mantenimiento preventivo de máquinas de C.A.

El mantenimiento preventivo ha de hacerse en el lugar donde la máquina se encuentra instalada prestando servicio, por tanto hemos de hacerlo con el menor equipamiento posible, pero sí suficiente. Para ello hemos de contar al menos con:

- Una pinza voltiamperimétrica, que mida tensión e intensidad en c.a. y medidor de continuidad.
- Medidor de temperatura.
- Tacómetro o medidor de revoluciones.
- Megóhmetro o medidor de aislamiento.
- Juego de llaves adecuadas al tipo de máquinas que hemos de verificar.
- Juego de destornilladores adecuados al tamaño de las máquinas.
- Equipo de herramientas para la reparación de conexiones eléctricas.
- Material aislante que permita reparar pequeños desperfectos.
- Equipo de engrase.

Este equipamiento, está enfocado fundamentalmente para hacer un diagnóstico de las condiciones en que se encuentra una máquina sin desmontarla, y una vez hecho esto, si el defecto se puede corregir insitu, se trasladará desde el taller el material necesario, (siempre todo ello, dependiendo del tamaño y trabajo a desarrollar por la máquina). Pero si la avería es importante, se procederá a trasladar la máquina al taller, donde se dispondrá de todo lo necesario.

8.3. Secuencia de operaciones que requiere el mantenimiento preventivo

Cuando nos referimos al mantenimiento de las máquinas de c.a., nos estamos refiriendo tanto a motores monofásicos y trifásicos en sus diferentes tipos como a los generadores o alternadores. Teniendo en cuenta que los motores de corriente alterna, son muy robustos en su funcionamiento, el planteamiento general de mantenimiento lo haremos pensando en el alternador y de esta forma cubrimos también el de los motores.

8.3.1. Análisis del estado general de la máquina

Este se hace de forma visual tratando de descubrir averías de tipo mecánico, como; escudos rotos, eje torcido, conexiones en mal estado, fijándose en el aspecto externo de la máquina, estado de pintura, zonas recalentadas o quemadas, estado de los conductores, conexiones a placa de bornas, etc.

Si observamos anormalidades dudosas realizaremos a continuación pruebas que confirmen o desmientan nuestras sospechas.

8.3.2. Revisión de anclajes y elementos móviles

Cuando la máquina está en funcionamiento, se escucha su sonido, se observan sus vibraciones, etc. Si el sonido es malo, puede serlo por falta de grasa, por desgaste de rodamientos, términos éstos que comprobaremos posteriormente a máquina parada. Si se observa que la máquina se mueve en su anclaje, es necesario revisar el apriete del sistema de anclaje.

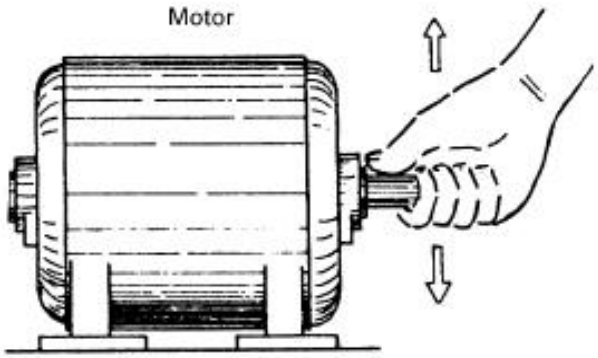


Figura 8.2. Forma de comprobar el estado de los rodamientos.

Con la máquina parada; tomando el eje o polea de la máquina como muestra la figura 8.2 e intentando mover en diferentes direcciones, si se observa cierto movimiento del eje respecto del cuerpo de la máquina, será necesario cambiar rodamientos. Para cambiar los rodamientos, tendremos en primer lugar que abrir la máquina, esto se hace en varios pasos:

a) Marcaremos como se observa en la figura 8.2, con el granete u hoja de sierra, carcasa y escudos con marcas diferentes, para que al montar estas piezas queden en la misma posición.

b) Con ayuda de llaves adecuadas, se retirarán los espárragos de sujeción de los escudos.

c) Golpearemos suavemente los escudos con un mazo de plástico o madera, para que éstos salgan de sus alojamientos.

d) Si los escudos no salen de los rodamientos o estos del eje, es necesario ayudarse con un extractor, como muestra la figura 8.3. Los rodamientos se retiran de los escudos, ayudándose con punteros adecuados a su diámetro, como se observa en la figura 8.4.

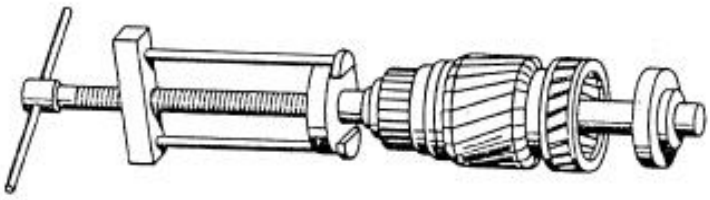


Figura 8.3. Extracción de rodamientos.

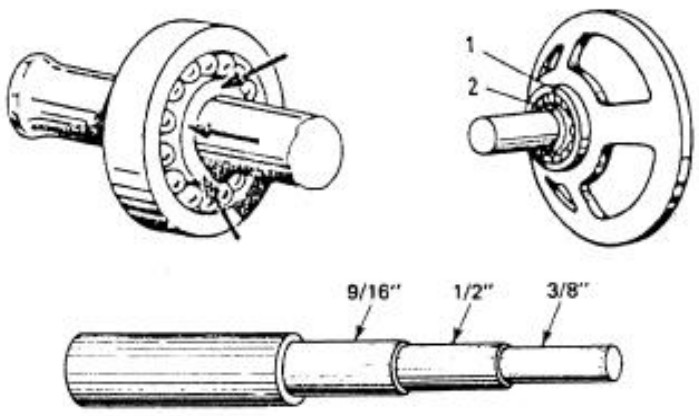


Figura 8.4. Extracción de los rodamientos de los escudos.

e) Para montar se hacen las operaciones a la inversa, teniendo en cuenta que los rodamientos deben engrasarse por la parte donde están las bolas.

8.3.3. Comprobación de circuitos

La comprobación de circuitos la haremos con la ayuda de una lámpara serie o con un óhmetro, actuando de forma diferente según estemos comprobando derivaciones, cortocircuitos, bobinas abiertas, etc.

8.3.3.1. Localización de derivaciones

También llamado contacto a masa, es toda unión eléctrica entre el devanado de una máquina y el hierro del estator.

Esta circunstancia puede haber sido provocada por varias causas, entre las que podemos citar las siguientes:

Contacto de los espárragos con las cabezas de las bobinas.

Espiras en contacto con las aristas del estator, al romperse o desplazarse los aislantes.

Rotor que roza las bobinas y deteriora su aislamiento.

La localización de estas derivaciones, que no se pueden detectar a simple vista, puede hacerse con ayuda de una lámpara serie o un megóhmetro, de forma que uno de sus conductores se conecta a la carcasa de la máquina y con el otro se va tocando en los diferentes circuitos, como muestra la figura 8.5.

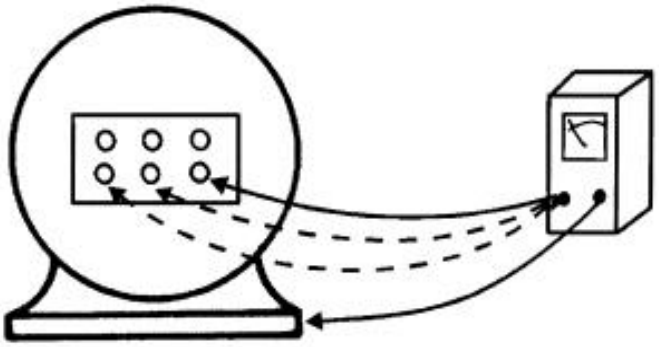


Figura 8.5. Localización de derivaciones.

De igual forma se puede actuar en el caso de los bobinados rotóricos.

Si al actuar de la forma indicada la lámpara serie luce o el megóhmetro marca cero, es evidente que hay derivación.

En muchos casos, una simple inspección visual es suficiente para localizar los contactos a masa o derivaciones. Estas derivaciones suelen producirse en las aristas de las ranuras al doblar las bobinas o en el interior de las mismas.

Cuando se ha localizado el punto afectado por el contacto, la reparación consiste en introducir nuevo material aislante entre el núcleo y la bobina afectada. Si no puede localizarse el contacto, habrá que proceder al rebobinado completo.

8.3.3.2. Localización de cortocircuitos

Dos o más espiras contiguas en contacto eléctrico directo (es decir, por defecto en el aislamiento que las protege), determinan un cortocircuito. Esta circunstancia se puede provocar generalmente al:

Calentarse excesivamente el bobinado.

Someterse a cargas excesivas.

Entrar las bobinas forzadas en las ranuras...

Por lo general, la presencia de un cortocircuito se detecta porque el arrollamiento humea mientras el motor está en servicio o porque éste absorbe una corriente excesiva cuando funciona sin carga.

La localización del punto exacto del cortocircuito puede llevarse a cabo por varios métodos, siempre a motor abierto una vez que tenemos certeza de la avería, entre ellos se pueden citar los siguientes:

- Utilizando la bobina inductora o de prueba, como se observa en la figura 8.6, se va desplazando ésta de ranura en ranura, a la vez que se pone una lámina metálica (hoja de sierra), en el otro extremo de la bobina o haz activo. La existencia de cortocircuito se detecta por la vibración de la lámina metálica.

- Comprobando la intensidad de campo magnético de cada polo de la máquina, siendo menor en aquellas bobinas que hay espiras en corto. Para ello se alimenta el bobinado con c.c. a una tensión entre 6 y 12 voltios, y con una pieza metálica de tamaño adecuado a las dimensiones del motor, se comprueba la atracción de cada polo.

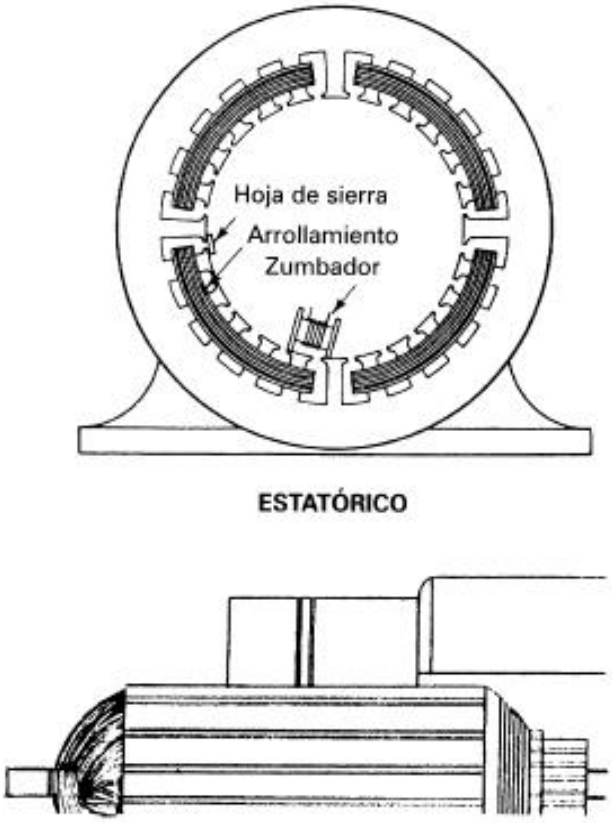


Figura 8.6. Localización de bobinas en cortocircuito con bobina inductora y hoja de sierra.

Las bobinas con espiras en cortocircuito han de ser rebobinadas y aisladas de nuevo, bien haciéndolo de la bobina afectada solamente si esto es posible, o del conjunto del devanado.

8.3.3.3. Localización de interrupciones

Las interrupciones pueden ser debidas a la rotura del hilo en una bobina o por una conexión floja. Para detectar el punto exacto en que se encuentra

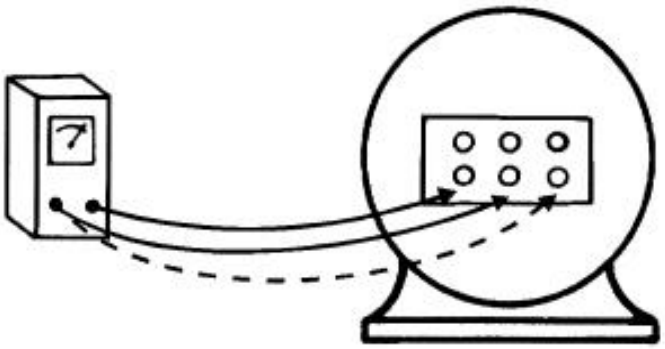


Figura 8.7. Localización de circuitos abiertos.

este fallo, se utiliza un óhmetro o bien una lámpara serie, siguiendo el proceso indicado en la figura 8.7. Si al conectar la lámpara de esta forma no luce y en el caso de un óhmetro marca infinito, es evidente que el circuito está abierto. En cuyo caso será necesario localizar el punto exacto del interruptor y proceder a su empalme o conexión adecuadamente.

8.3.3.4. Conexiones erróneas

Las conexiones equivocadas dan lugar a la inversión de la polaridad en bobinas o grupos de bobinas. Ello da lugar a un funcionamiento incorrecto de la máquina, ya que las bobinas o grupos equivocados hacen su esfuerzo en oposición al resto del devanado, provocando con ello un funcionamiento anómalo, que además de provocar un sonido de la máquina extraño, da lugar a un consumo excesivo de intensidad.

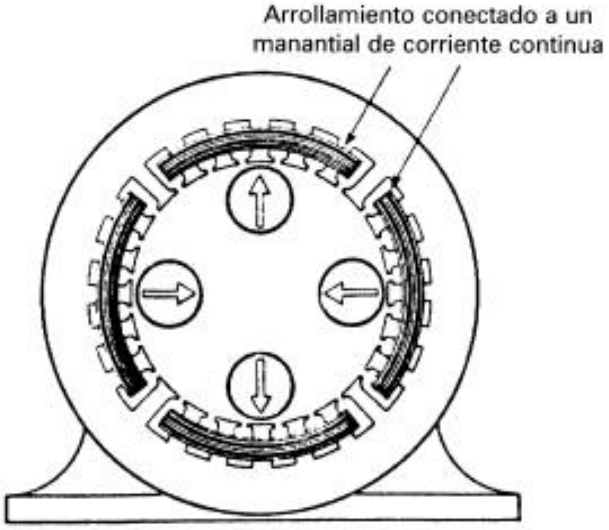


Figura 8.8. Comprobación de la polaridad con brújula.

La mejor forma de localizar bobinas con polaridad invertida es examinar las conexiones visualmente, pero en la mayoría de los casos eso no es posible, por diferentes razones.

En tal caso el método más seguro consiste en alimentar el principio y final de una fase con corriente continua, de 6 a 12V y recorrer el bobinado con una brújula, como muestra la figura 8.8. A medida que la brújula pasa frente a cada polo de

la fase indicará si es norte o sur, lo que deberán hacer alternativamente, puesto que si marca dos veces seguidas el mismo polo, es evidente que hay un error, si por el contrario no se define claramente, es que alguna de las bobinas del grupo está invertida.

Otro sistema válido para comprobar el conexionado correcto, es el realizado con una bola metálica como la indicada en la figura 8.9, para ello hemos de utilizar una bola que sea de diámetro ligeramente superior al tamaño de la abertura de las ranuras del estator.

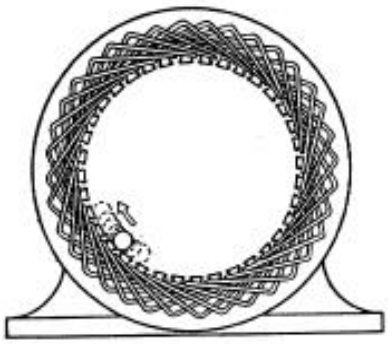


Figura 8.9. Comprobación del conexionado con bola metálica.

Para hacerse el ensayo deben darse los siguientes pasos:

- Se conectan los devanados de la máquina en estrella.
- Alimentamos la máquina con una fuente de c.a., de valor regulable, a tensión reducida.
- Con un elemento de material no magnético, se impulsa la bola metálica en el sentido de giro previsto para el campo magnético giratorio, ésta deberá empezar a girar en el interior de la armadura.
- Al aumentar o disminuir la tensión de alimentación, la velocidad de la bola también lo hace.

Si a pesar de haber hecho los pasos enunciados, la bola no gira, podemos asegurar que hay conexiones equivocadas.

Durante el ensayo se calientan mucho los devanados, por tanto debe hacerse en un tiempo breve.

8.4. Rebobinado de las máquinas de C.A.

Cuando algunas de las anomalías detectadas en los ensayos anteriores resultan imposibles de reparar, o cuando es necesario cambiar alguna característica de las máquinas, es necesario rebobinarlas.

El proceso de rebobinado de las máquinas de corriente alterna, comprende una serie de pasos, que deben hacerse en el siguiente orden:

1- Toma de datos.
2- Extracción del arrollamiento antiguo.
3- Aislamiento de las ranuras estatóricas.
4- Confección de las nuevas bobinas.
5- Colocación de las bobinas en las ranuras.
6- Conexión de las bobinas entre sí.
7- Verificación eléctrica del nuevo arrollamiento.
8- Impregnación y secado.

8.4.1. Toma de datos al extraer el arrollamiento

Siempre que se tenga que rebobinar un motor o generador de c.a., es necesario anotar previamente, los datos necesarios para que el nuevo bobinado tenga las mismas características que el antiguo.

Los datos que deben anotarse son:

1- Los que figuran en la placa de características del motor.
2- El número de ranuras estatóricas.
3- El número de bobinas.
4- La clase de conexión entre bobinas.
5- El número de espiras de cada bobina.
6- La forma y las dimensiones de cada bobina.
7- El paso de bobina.
8- La clase de aislamiento empleado en las ranuras, con indicación de su espesor.
9- La sección del conductor y el espesor de su aislamiento.

Estos datos deben ser lo más completos y claros posible, al objeto de procederse al rebobinado del motor sin pérdida de tiempo. El mejor procedimiento consiste en reunirlos en una hoja de datos como la que se representa en la figura 8.10.

Antes de extraer el arrollamiento estatórico de las ranuras es preciso determinar y anotar de qué modo están unidos entre sí los diversos polos o las diversas ramas de arrollamiento, y cuál es la clase de conexión entre fases, para ello haremos un esquema simplificado, en el espacio correspondiente de la hoja de datos de la figura 8.10. Los motores trifásicos están normalmente previstos para trabajar a una o dos tensiones de servicio y para girar a dos, tres o cuatro velocidades de régimen, lo cual exige una gran variedad de conexiones (en triángulo, en estrella, en serie, en paralelo y todas las combinaciones posibles entre éstas).

RAZÓN SOCIAL DEL PROPIETARIO: _____

W o CV:	**Intensd:**	**Tensión:**
Tipo:	**Código:**	**R.P.M:**
Hz:	**N1 fases:**	**Tep. máx.:**
K:	**N1 bobinas:**	**2p:**
N1 esp./bob.	**Ø hilo:**	**Bob./grupo:**
Imbricado:	**Ondulado:**	**Por polos:**
Paso bob:	**Otras conexiones:**	
Esq. simplificado:		

Figura 8.10. Tabla de datos necesarios para proceder al rebobinado de una máquina de c.a.

Una vez se han anotado los datos de la placa de características y el nombre o razón social del propietario, es necesario abrir la máquina. Pero antes de aflojar tornillos es importante marcar la carcasa y los escudos con el fin de que al montarlos se coloquen en la misma posición exactamente, para evitar problemas de centrado, esta operación puede hacerse como muestra la figura 8.11.

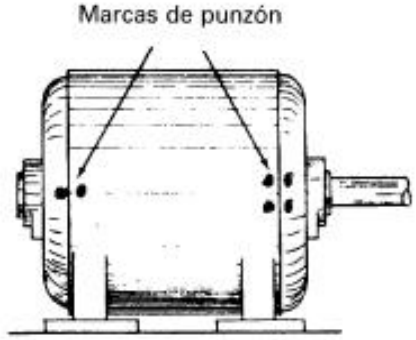


Figura 8.11. Marcas en escudos y carcasa.

Una vez que se abre la máquina y se desmonta el rotor, suponiendo que no sea éste el averiado, nos dedicamos al estator, comenzando a contar las ranuras, tomando nota en la tabla.

A continuación será necesario averiguar qué conexión tiene la máquina, para ello posiblemente será necesario calentar en el horno el devanado, con objeto de reblandecer el barniz, para poder separar las conexiones, una vez se han sacado las conexiones, se hace el esquema simplificado de una fase si la máquina es trifásica, o de los dos bobinados si es monofásica. El esquema simplificado se hará como el representado en la figura 8.12.

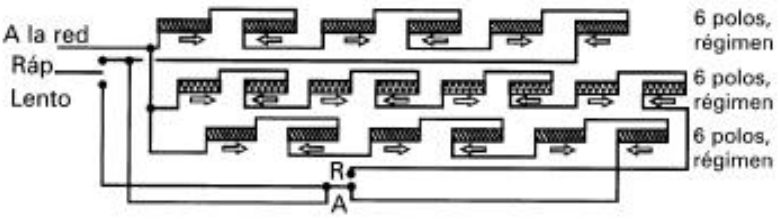


Figura 8.12. Esquema simplificado de un motor monofásico.

Como las bobinas son moldeadas, habrá que sacar algunas para verificar su forma y dimensiones exactas con objeto de confeccionar el molde o acondicionar la plantilla para hacer las nuevas.

Luego se cuenta el número de espiras de cada bobina. Si ello resulta difícil, se secciona la bobina y se cuenta el número de extremos de hilo cortados.

Acto seguido, se mide el diámetro del conductor por medio de un calibre o un micrómetro, y se anota la clase de aislamiento que lleva.

Tómese nota igualmente de la clase de aislamiento que llevan las ranuras.

8.4.1.1. Recomendaciones a tener en cuenta

Durante la extracción de las bobinas es necesario procurar, no tocar las chapas del núcleo para evitar su deterioro.

Como las cuñas han sido introducidas a presión en las ranuras, su extracción suele resultar difícil. El mejor modo de conseguirlo es colocar una hoja de sierra sobre la cuña figura 8.13 y golpearla con un martillo hasta que sus dientes hagan presa en la cuña; seguidamente se golpea la hoja en dirección horizontal, con lo cual sus dientes penetran más en la cuña y al propio tiempo la arrastran hacia fuera de la ranura.

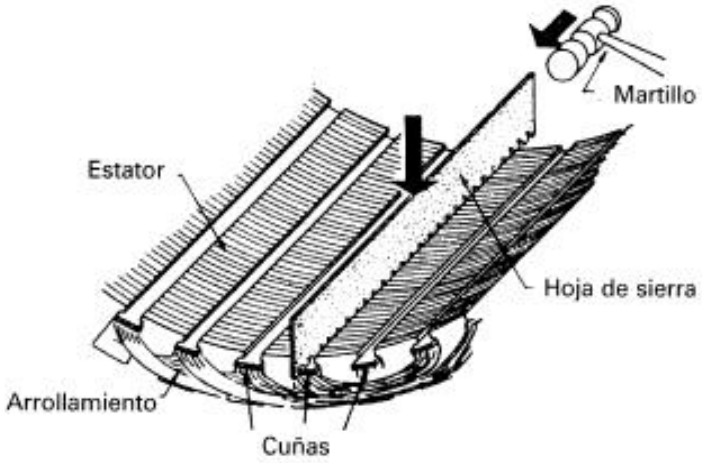


Figura 8.13. Extracción de cuñas de las ranuras.

En las máquinas grandes, la extracción del arrollamiento es relativamente más fácil. En caso de ranuras semicerradas, y especialmente si han sido secados a la estufa, puede ser necesario volverlos a introducir en la misma con objeto de reblandecer todo el aislamiento y el barniz si no se ha hecho anteriormente. Es necesario asegúrarse de que todo el aislamiento ha sido extraído de las ranuras.

8.4.2. Aislamiento del núcleo

Antes de rebobinar una máquina es preciso aislar las ranuras de la misma para evitar que los conductores puedan tocar las chapas del núcleo y crear así contactos a masa. Para ello se utilizará aislamiento de espesor y calidad idénticos a los del material original extraído.

En las máquinas de c.a., los cartones que aíslan las ranuras se cortarán de forma que sobresalgan por los extremos de las ranuras lo suficiente para que los conductores no lleguen a tocar el núcleo en ningún momento.

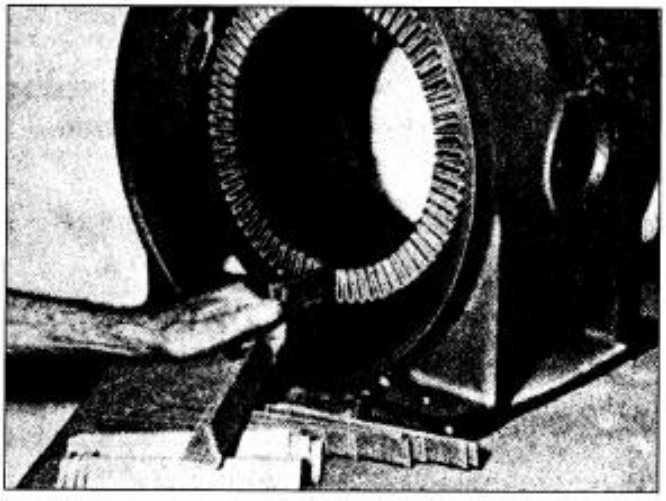


Figura 8.14. Aislamiento de ranuras, y adaptación de los cartones.

En lo que respecta al borde interior de las ranuras, deberá estar libre de aislante, puesto que es donde irán las cuñas para cerrarlas, como se puede observar en la figura 8.14.

8.4.3. Ejecución de la bobinas

Para hacer las bobinas se procederá en el siguiente orden:

1- Se toma la medida y forma exacta de la bobina que habíamos sacado entera, o bien, si esto no fue posible, se toma la medida con un trozo de hilo de bobinar y se traslada a unos moldes adecuados, según para qué tipo de bobinado sean las bobinas, así deberá ser el molde, (concéntricos, excéntricos, monofásicos, etc.) algunos de estos tipos son los de la figura 8.15.

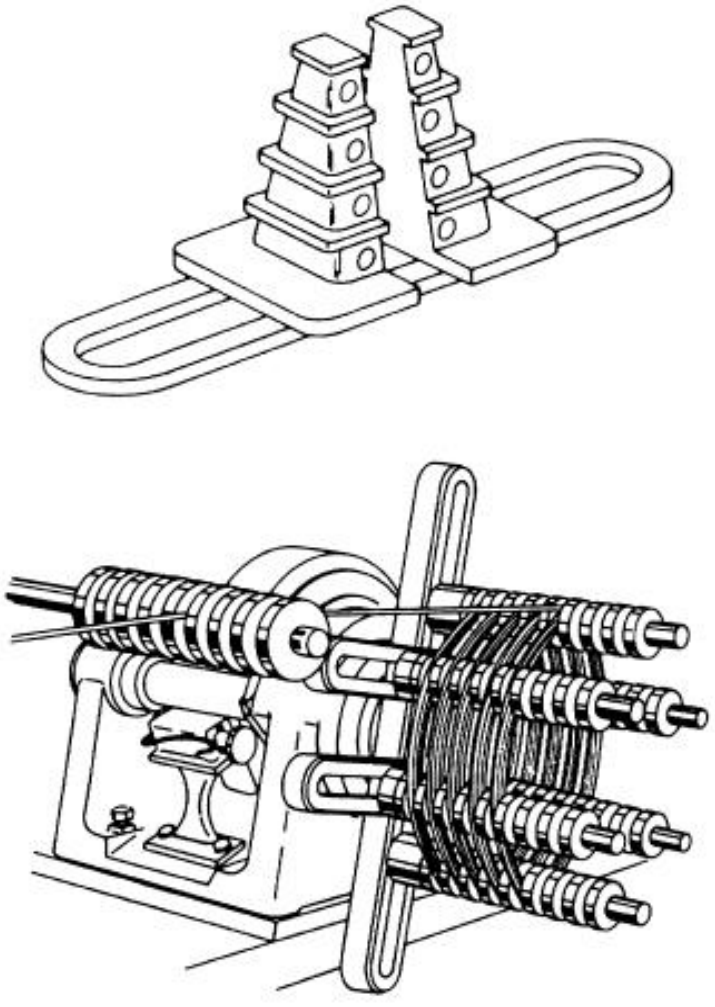


Figura 8.15. Moldes adaptables para bobinados de grupos concéntricos, excéntricos y bobinas individuales.

2- En una máquina bobinadora, una vez montado el molde, se fija en el contador de la misma el número de espiras que ha de llevar la bobina. Con hilo esmaltado adecuado en características y dimensiones, cuidadosamente, se van poniendo capas, sin que haya hilos cruzados y una vez se haya terminado, se atan con cintas o cuerdas, quedando las bobinas como muestra la figura 8.16.

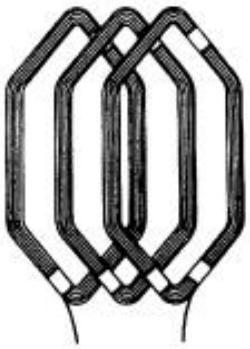


Figura 8.16. Grupo de bobinas para bobinado excéntrico.

8.4.4. Colocación de las bobinas en las ranuras

Para realizar este paso, es importante la destreza del bobinador, en todo momento ha de procurar que no se crucen los hilos de la bobina que tiene entre sus manos, haciendo que éstos queden alineados, figura 8.17 a) de forma que entren con facilidad en la abertura de la ranura. Se debe tener especial cuidado de no invertir las bobinas, una buena forma de hacerlo es dejando el resto del grupo sobre la mesa como se refleja en la figura 8.17 b).

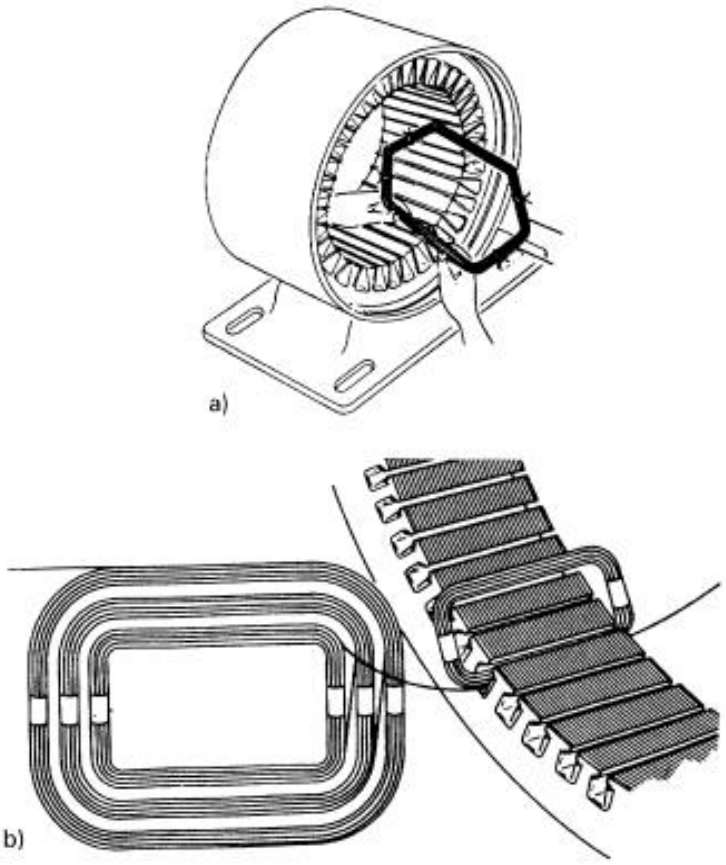


Figura 8.17. Colocación de bobinas.

La forma en que van quedando los grupos de bobinas alojados en las ranuras se observa en la figura 8.18, para bobinados excéntricos en que además se observa, como es necesario dejar cinco haces activos fuera, ya que debajo, en su misma ranura o en otra distinta, han de entrar haces correspondientes a las últimas bobinas durante el cierre del devanado, siendo los primeros que dejamos sobre el cartón los últimos en entrar.

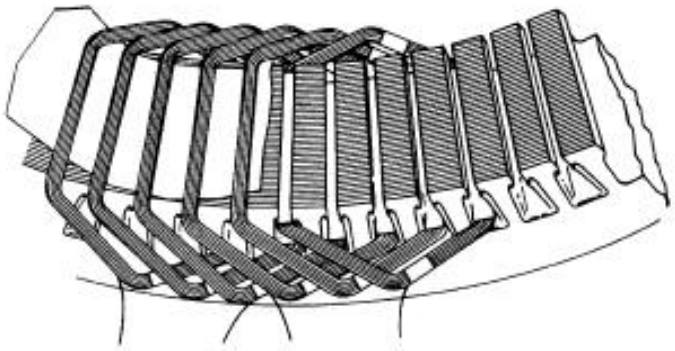


Figura 8.18. Aspecto del proceso de inserción de grupos de bobinas de un bobinado excéntrico.

En la figura 8.19, puede observarse cómo quedarían alojados los grupos de un bobinados concéntricos.

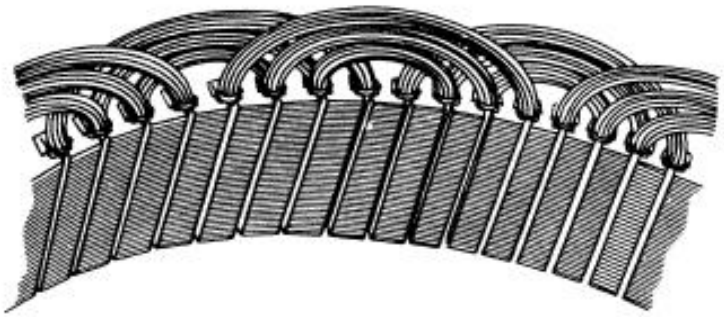


Figura 8.19. Aspecto de los grupos de un bobinado concéntrico.

8.4.5. Cierre de las ranuras

Una vez se han situado en el interior de las ranuras los haces activos de las bobinas, es necesario cerrarlas. Para ello, si el bobinado es rotórico se actuará de igual forma que para los bobinados inducidos de c.c., con la única diferencia, que en éstos los circuitos se conectan a un colector de anillos y no de delgas. En el caso de devanados estatóricos que será lo más frecuente, existe la posibilidad de utilizar diferentes materiales, como pueden ser; madera, cartón, plástico y fibra, todos ellos se comercializan con dimensiones y formas adecuadas a los distintos tipos de ranuras habituales en las máquinas en uso.

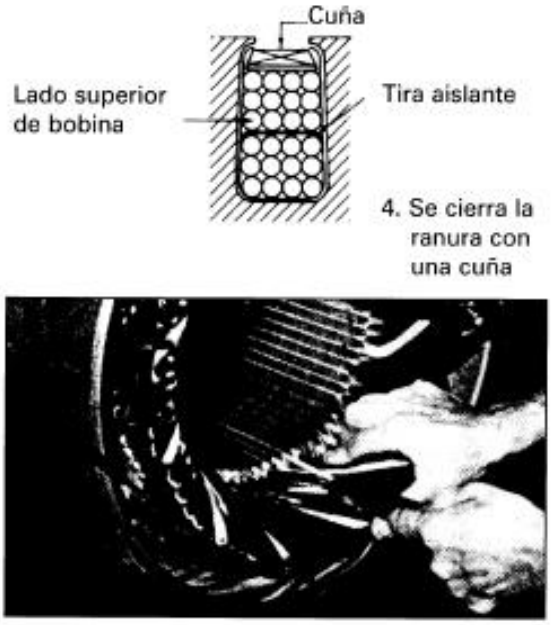


Figura 8.20. Cierre de una ranura y sus aislantes.

La sección de una ranura con cuña puesta, se refleja en la figura 8.20.

8.4.6. Conexiones de los devanados

Como ya hemos estudiado en el tema 7, la forma de hacer las conexiones entre las diferentes bobinas y grupos es muy simple, pero es recomendable seguir unos pasos determinados como son:

- Formar los grupos si previamente no se hizo al confeccionar las bobinas.

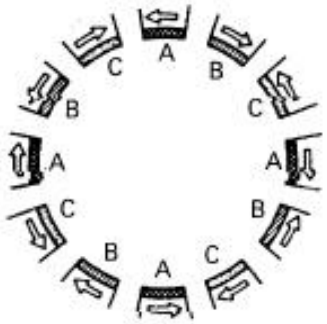


Figura 8.21. Distribución de los grupos de tres fases de una máquina tetrapolar (2p=4), en la periferia de la armadura.

- Identificas la situación de cada grupo en la periferia de la armadura, que formará parte de una misma fase, figura 8.21. En la figura, las flechas indican sentidos de corriente y por tanto polos diferentes para flechas opuestas.
- Conexionado entre grupos de cada una de las fases, que puede hacerse siguiendo un esquema simplificado como el de la figura 8.22, siempre teniendo en cuenta que han de formarse polos alternativamente diferentes, N-S-N-S de igual forma que vimos para las máquinas de c.c.

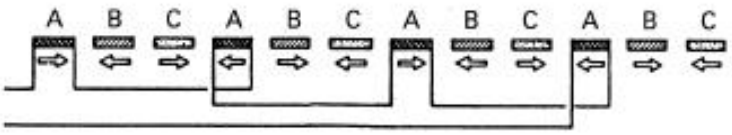


Figura 8.22. Conexionado de los grupos de una fase del bobinado de la figura 8.21.

El empalme o unión eléctrica entre las diferentes bobinas y de éstas con los conductores que posteriormente se conectarán a la placa de bornes, se hará, eliminando de los conductores el aislante en espacio suficiente, para posteriormente hacer un empalme por retorcimiento, que posteriormente se funde con lamparilla o se suelda con estaño. El empalme se cubre con un tubo aislante que previamente se había metido en uno de los conductores a unir figura 8.23.

Figura 8.23. Empalme en los devanados.

Una vez se han conectado los diferentes circuitos, dependiendo del tipo de máquina, es necesario proceder a la comprobación eléctrica y amarre del devanado.

8.4.7. Comprobaciones eléctricas

Ya durante el proceso de conexionado, iremos comprobando la continuidad del circuito, como ya sabemos lo podemos hacer con lámpara serie, óhmetro, etc.

Una vez terminado de conexionar, se procede a la fijación mediante amarre de todo el bobinado y posteriormente se somete a ensayos de aislamiento, formación de polos, etc.

8.4.8. Aislamiento y amarre de bobinados

El amarre del bobinado se hace cuando se han terminado de hacer las conexiones y éstas se han aislado adecuadamente, poniendose también aislamiento entre las cabezas de los distintos grupos.

Para proceder al amarre, se toma una cuerda o cinta de material resistente y se cosen las cabezas de las bobinas, unas junto a otras, como se puede observar en las figuras 8.24, con objeto de formar un anillo compacto y resistente, que en ningún momento pueda rozar con las partes móviles de la máquina.

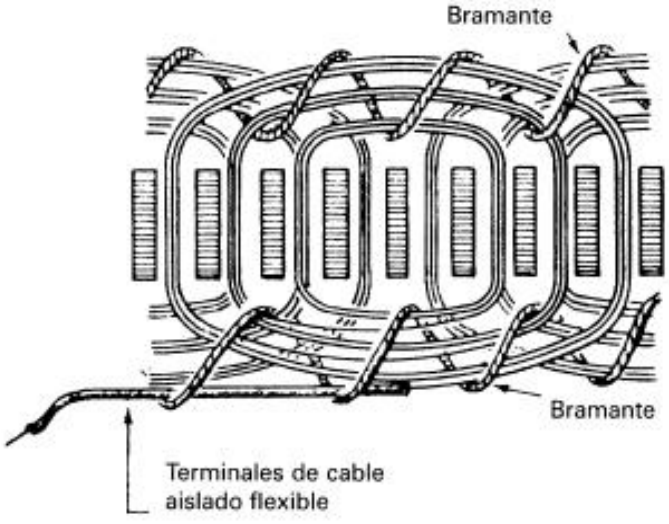


Figura 8.24. Aspecto del amarre de un bobinado.

Durante el proceso de amarre, es necesario colocar los conductores flexibles que unirán los principios y finales de fases a la placa de bornes, éstos deben salir por un orificio que existe en el lugar previsto para la placa.

8.4.9. Impregnación y secado

Terminado el bobinado y verificado eléctricamente el arrollamiento, la próxima operación es impregnar este último con barniz. La impregnación hace el arrollamiento estanco a la humedad y evita la vibración de las espiras de las bobinas en las ranuras. Tanto la humedad como las vibraciones acaban por deteriorar el aislamiento de los conductores, con la consiguiente producción de cortocircuitos.

El barniz empleado puede ser de dos clases, según que se seque al aire, por sí solo, o que precise un secado en la estufa. El primero únicamente se aplica cuando no se desea o no se puede exponer el inducido al calor. El segundo es siempre preferible por resultar más efectivo, ya que la humedad sólo se elimina con un secado en la estufa.

Caso de utilizar este último, se introduce el estator o rotor, en una estufa a la temperatura de 1.200 ºC y se deja en ella unas tres horas con objeto de eliminar toda traza de humedad. Se retira luego de la estufa, se impregna con barniz, se deja escurrir el tiempo necesario y se vuelve a introducir finalmente en la estufa, donde deberá permanecer tres horas más expuesto a la misma temperatura de antes. Antes de la impregnación, es muy conveniente encintar las partes que no deben estar cubiertas de barniz, para evitar que aquél permanezca adherido en dichas partes al secarse y tenga que ser rascado. Una vez terminado al secado, se procede al montaje y comprobación final de funcionamiento.

8.5. Informe del trabajo realizado

El parte de trabajo realizado, es un mecanismo utilizado en las empresas para conocer el trabajo desarrollado por cada trabajador a lo largo de la jornada, a la vez, es la forma de valorar una reparación, cuando ésta ha de cobrarse a un tercero.

Para hacer que el parte o informe del trabajo desarrollado, sea fácil de hacer y a la vez aporte toda la información deseada, puede hacerse un formulario como el reflejado en la figura 8.25.

Estos partes de trabajo deben ser archivados junto con una copia de la factura correspondiente, de forma que resulte cómodo y fácil de localizar, especialmente en el caso de reclamaciones de los clientes o de nuevas reparaciones.

8.6. Rebobinado para modificar características de tensión, frecuencia y velocidad

En ocasiones es necesario o conveniente que los motores de c.a., puedan funcionar a tensiones, frecuencia o velocidad diferente de la original.

Para ello sólo es necesario realizar unos cálculos sencillos, basados en el bobinado antiguo, teniendo en cuenta que hemos de mantener constante el flujo, en el interior de la máquina.

PARTE DE TRABAJO DE MÁQUINAS DE CORRIENTE ALTERNA

Fecha: ..... Hora: .....
Tipo de máquina: .....
Nº de referencia: .....
Potencia: ..... V: ..... I: .....

BOBINADO ROTÓRICO	BOBINADO ESTATÓRICO
K: 2p:	**Bobinado de trabajo**
Nº de esp: ..... Ø hilo:	K: .... 2p: .....
Pasos bobinas:	Nº de esp: ..... Ø hilo: .....
Tipo de conexión:	Pasos bobinas: .....
	Tipo de conexión: .....
	Bobinado de arranque
	K: .... 2p: .....
	Nº de esp: ..... Ø hilo: .....
	Pasos bobinas: .....
	Tipo de conexión: .....
Tipo de trabajo realizado	**Tipo de trabajo realizado**
Comprobación:	Comprobación: .....
Reparación aislamientos:	Reparación aislamientos: .....
Barnizado:	Barnizado: .....
Rebobinado:	Rebobinado: .....
Otros:	Otros: .....
Materiales empleados:	Materiales empleados: .....

Observaciones generales: .....

TIEMPO TOTAL EMPLEADO: .....

DATOS DEL OPERARIO: .....

FECHA: .....

Firma

Figura 8.25. Modelo de parte de trabajo.

Según esto, si llamamos V_1, N_1 y f_1, a los datos de tensión, número de espiras y frecuencia antes del cambio, tendremos que:

$$V_1 = \frac{\sqrt{2}\cdot\pi\cdot\Phi\cdot f_1\cdot N_1}{10^8}$$

Llamando V_2, N_2 y f_2, a las magnitudes con nuevos valores, se cumplirá que:

$$V_2 = \frac{\sqrt{2}\cdot\pi\cdot\Phi\cdot f_2\cdot N_2}{10^8}$$

Como la sección del circuito magnético no cambia, puesto que el hierro de la máquina es el mismo, y la inducción debe permanecer constante, según hemos dicho, entonces el flujo también permanece constante. Al dividir entre sí las dos expresiones anteriores, nos queda:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1 \cdot f_1}{N_2 \cdot f_2}$$

Esta relación nos permitirá hallar los nuevos valores de frecuencia, tensión y número de espiras.

8.6.1. Cambios de tensión

En el caso de que necesitemos cambiar la tensión para la misma frecuencia, resulta que;

$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1 \cdot f_1}{N_2 \cdot f_2}$, pero como $f_1 = f_2$ queda, $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$

Pero si el número de espiras cambia, también ha de hacerlo su sección en sentido inverso, puesto que si no fuese así, sería imposible meter más espiras en una ranura con la misma sección. Ello lo explica la necesidad de mantener la potencia constante antes y después de hacer el cambio, ya que las características mecánicas no varían. De acuerdo con esto al aumentar la tensión, disminuye la intensidad, para la misma potencia y suponiendo el factor de potencia también fijo, así:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

y teniendo en cuenta que la sección de los conductores es proporcional a la intensidad, puede escribirse la siguiente relación:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{S_2}{S_1}; \quad S_2 = \frac{V_1 \cdot S_1}{V_2}$$

EJEMPLO: Si disponemos de un motor con tensión a 220 V y tiene 4 grupos de dos bobinas cada uno por fase, y cada bobina tiene 50 espiras de 0,8 mm de diámetro. ¿Cuál será el N_1 de espiras a poner y su diámetro, para que el motor funcione a 440 V con la misma frecuencia?

RESULTADO: Teniendo en cuenta que las bobinas de una fase están conectadas en serie, si no se indica lo contrario, el número de espiras N_1, será:

N_1 = 4 grupos · 2 bobinas · 50 espiras = 400 espiras

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}; \quad \frac{220\ V}{440\ V} = \frac{400}{N_2}; \quad N_2 = \frac{440\cdot 400}{220} = 800 \text{ espiras}$$

Cada bobina tendrá 800/8=100 espiras.

La nueva sección será:

$$S_2 = \frac{V_1 \cdot S_1}{V_2} = \frac{220 \cdot 0{,}8}{440} = 0{,}4 \text{ mm de diámetro}$$

8.6.2. Cambio de frecuencia y velocidad a tensión constante

Para cambiar la frecuencia se deberán tener en cuenta las siguientes reglas:

1- $N_1 \cdot f_1 = N_2 \cdot f_2$; el número de espiras a poner para una nueva frecuencia será:

$$N_2 = \frac{N_1 \cdot f_1}{f_2}$$

2- El aprovechamiento de las ranuras exige que la sección del conductor sea inversamente proporcional al número de conductores, que están en razón directa con el valor de la frecuencia. Así:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{f_1}{f_2}\ ;\ S_2 = \frac{S_1 \cdot f_2}{f_1}$$

3-La intensidad de corriente es directamente proporcional a la frecuencia:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{f_1}{f_2}$$

4- Para una tensión constante, la potencia es directamente proporcional a la intensidad, y por tanto a la frecuencia:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{f_1}{f_2};\ P_2 = \frac{P_1 \cdot f_2}{f_1}$$

5- Como ya sabemos la velocidad de una máquina de c.a., es directamente proporcional a la frecuencia: n=f.60/p

Así, pues; $\frac{n_1}{n_2} = \frac{f_1}{f_2}\ ;\ n_2 = \frac{n_1 \cdot f_2}{f_1}$

EJEMPLO: Supongamos que disponemos de un motor de 10 CV a 1.500 r.p.m. y que tiene un bobinado para 50 Hz, con 140 espiras en serie y un conductor de 2,9 mm² de sección. Si deseamos que funcione a una frecuencia de 60 Hz. ¿Qué valores cambiarán?

$$P_2 = P_1 \frac{f_2}{f_1} = 10 \cdot \frac{60}{50} = 12 \text{ CV}$$

$$n_2 = \frac{n_1 \cdot f_2}{f_1} = 1.500\ \frac{60}{50} = 1.800 \text{ r.p.m.}$$

$$N_2 = \frac{N_1 \text{ x } f_1}{f_2} = \frac{140 \text{ x } 50}{60} = 116{,}6 \text{ - espiras}$$

$$S_2 = \frac{S_1 \cdot f_2}{f_1} = 2{,}9\ \frac{60}{50} = 3{,}48 \text{ mm}^2$$

8.7. Normas de seguridad aplicables

Las normas mínimas de seguridad las marcan los distintos Reglamentos aplicables en cada caso, así le afectará el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión o el Reglamento de Alta Tensión dependiendo del tamaño de la máquina.

Pero además de los Reglamentos mencionados, es necesario observar y cumplir la legislación de seguridad y salud aplicable en cada lugar de trabajo donde se encuentre instalada la máquina, y que le afectará en determinados aspectos, por tanto no se puede hablar de unas normas concretas y directas que afecten sólo a máquinas de corriente alterna, sino de una legislación de seguridad y prevención de riesgos, algunas de las cuales se relacionan a continuación.

Real Decreto 1495/1986, de 26 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad en las Máquinas (B.O.E. 21.07.86) y modificaciones por R.D. 590/1989, de 19 de mayo (B.O.E. 03.06.89) Y R.D. 830/1991, de 24 de mayo (B.O.E. 31.05.91).

Orden Ministerial de 8 de abril de 1991 por la que se aprueba la ITC-MSG-SM del Reglamento de Seguridad en Máquinas, referente a máquinas, elementos de máquinas o sistemas de protección usados (B.O.E. 11.04.91).

Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales (B.O.E. 10.11.95).

Real Decreto 485/1997, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo (B.O.E. 23.04.97).

Real Decreto 486/1997, de 14 de abril por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo (B.O.E. 23.04.97).

Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización de los trabajadores de equipos de protección individual (B.O.E. 12.06.97).

Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo (B.O.E. 07.08.97).

Actividades de taller propuestas

1- Tomar un alternador y anotar los datos de su placa de características, comprobar su estado general, comprobar sus partes mecánicas y los distintos circuitos siguiendo todas las normas explicadas, y tomando nota adecuadamente en la tabla de revisiones.

2- Proceder al rebobinado completo de la máquina anteriormente revisada y completar un parte de trabajo.

3- Hacer el rebobinado completo de un motor asíncrono trifásico, haciendo los cálculos necesarios para cambiar su tensión de alimentación en veinte voltios más, (si su tensión original era 220 V, que ahora sea 240 V).

4- Rebobinar un motor asíncrono monofásico con circuito de arranque sin condensador.

Autoevaluación

1- Explica en breves palabras el significado de mantenimiento preventivo.

2- Escribe todo lo que sepas sobre el Tacómetro.

3- ¿Para qué sirven los aislantes en las máquinas de c.a.?

4- ¿Cómo se llaman las herramientas que nos permiten sacar los rodamientos de las máquinas?

5- Explica como se localizan los cortocircuitos en los devanados.

6- ¿Cómo se puede saber que bobina está abierta?

7- Enumera los pasos más importantes a dar para hacer un rebobinado.

8- Relaciona todos los pasos previos antes de decidir hacer un rebobinado.

9- ¿Cómo se hace el barnizado de un devanado de una máquina de c.a.?

10- Relaciona algunas normas de seguridad, a tu juicio importantes, de observar en el taller de máquinas.

Ensayos de máquinas eléctricas de corriente alterna

Introducción

Las máquinas eléctricas transforman la energía mecánica que reciben por su eje, en energía eléctrica que suministran por sus bornes (generadores). O bien, transforman la energía eléctrica que reciben por sus bornes, en mecánica que trasmiten por su eje (motores).

En el caso que nos ocupa se trata de generadores y motores de corriente alterna. A los generadores se les llaman alternadores. Los motores pueden ser; síncronos y asíncronos.

Mediante la realización de ensayos, procuraremos determinar algunas de sus características.

Contenido

- *Placa de bornas en las máquinas de corriente alterna.*
- *Alternador y partes principales.*
- *Principio de funcionamiento del alternador.*
- *Alternadores de excitación independiente y autoexcitados.*
- *Ensayo de vacío a un alternador.*
- *Ensayo de cortocircuito del generador síncrono.*

Objetivos

- *Conocer el funcionamiento básico de un alternador.*
- *Identificar una máquina por medio de su placa de bornes.*
- *Saber realizar las conexiones necesarias para arrancar las máquinas de c.a.*
- *Realizar los ensayos de vacío, carga y regulación, obteniendo sus correspondientes características.*

9.1. Placa de bornas en las máquinas de corriente alterna

Toda máquina eléctrica está provista de una placa de material aislante, en la que están dispuestos un número determinado de tornillos o elementos de fijación, donde asir los terminales de los diferentes circuitos de que disponga la máquina. Estos bornes deben tener una disposición normalizada, para que todos podamos entenderla.

Las letras (U-V-W) o (U1-V1-W1) corresponden a los principios de los bobinados y las letras (X-Y-Z) o (U2-V2-W2) a los finales de los bobinados. Los bornes (s-q) corresponden al circuito de excitación de los alternadores, siendo el borne "s" al que ha de conectarse el "+" y el "q" al que se conectará el negativo.

En los motores con rotor bobinado, sus circuitos rotóricos están unidos a anillos, sobre los que frotan escobillas que terminan en los bornes "u-v-w".

La disposición normalizada es:

ANTIGUA	NUEVA	CIRCUITO AL QUE CORRESPONDE
U-X	U1-U2	BOBINADO FASE "R"
V-Y	V1-V2	BOBINADO FASE "S"
W-Z	W1-W2	BOBINADO FASE "T"
s-q	F1-F2	BOBINADO DE EXCITACIÓN
u-v-w	K-L-M	TERMINALES DEL ARROLLAMIENTO ROTÓRICO EN LOS MOTORES

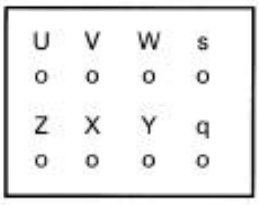


Figura 9.1. Placa de bornas de una máquina de c.a.

De acuerdo con los bornes que observemos en la placa de conexiones, podemos determinar qué máquina es.

9.2. Alternador y partes principales

Recibe el nombre de alternador, la máquina síncrona capaz de transformar la energía mecánica que recibe por su eje, en corriente alterna que suministra por sus bornes. Los alternadores pueden ser monofásicos y trifásicos.

El alternador como toda máquina eléctrica, consta de dos circuitos eléctricos y un circuito magnético, que a su vez están alojadas en las siguientes partes:

9.2.1. Estator

Es la masa metálica fija, unida a la carcasa y constituida por un paquete de chapas magnéticas de silicio de 0'35 mm de espesor, aisladas con barniz, este núcleo va provisto de ranuras para alojar el bobinado inducido o inductor, según el tipo de máquina. El bobinado que se aloja en el estator suele ser el de potencia, puesto que de esta manera es más fácil hacer las conexiones con el exterior.

El bobinado del estator es igual al utilizado en los motores asíncronos de c.a. que estudiamos en el tema 7, pudiendo ser estos monofásicos o trifásicos. Los bobinados trifásicos, pueden conectarse en estrella o en triángulo.

9.2.2. Rotor

Es una rueda formada por un paquete de chapas magnéticas, solidaria al eje de la máquina, donde están alojados los polos magnéticos o bobinado inductor, alimentado por corriente continua.

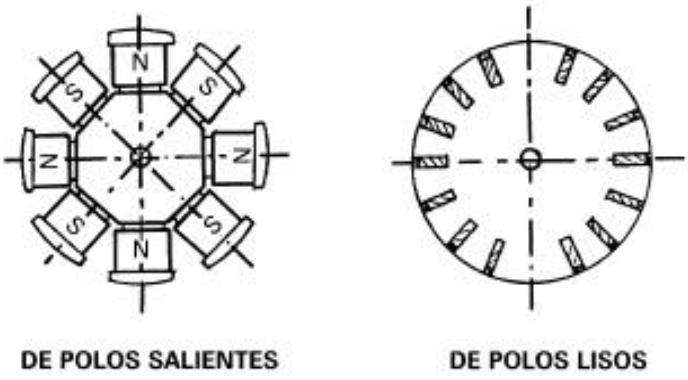


Figura 9.2. Dos tipos de rotores de alternadores.

El bobinado inductor estará formado por bobinas conectadas en serie, aunque el sentido del bobinado de dos bobinas contiguas, será contrario a fin de formar polos N y S, alternativamente.

La conexión eléctrica entre el circuito inductor y la fuente de c.c., se hace mediante escobillas que frotan sobre dos anillos unidos al eje de la máquina.

El rotor de un alternador puede ser de polos salientes o cilíndrico, los primeros se emplean en alternadores movidos por turbinas hidráulicas de baja velocidad, los segundos se emplean en alternadores movidos por centrales térmicas o nucleares, se les llama también turbo-alternadores y funcionan a 1.500 o 3.000 r.p.m.

9.2.3. Excitatriz

Se denomina excitatriz a la dínamo utilizada como fuente de c.c., acoplada en el eje del propio alternador, para alimentar el bobinado inductor. También se utilizan otros métodos sin ser necesariamente una dinamo, como es el caso de los alternadores autoexcitados, en cuyo caso, la corriente de excitación se toma de los bornes del propio alternador y se rectifica antes de aplicarla al bobinado inductor.

9.3. Principio de funcionamiento del alternador

Al hacer girar una espira en el seno de un campo magnético (Norte- Sur), cuyos extremos estén unidos a dos anillos, se genera una f.e.m. alterna como se representa en la figura 9.3.

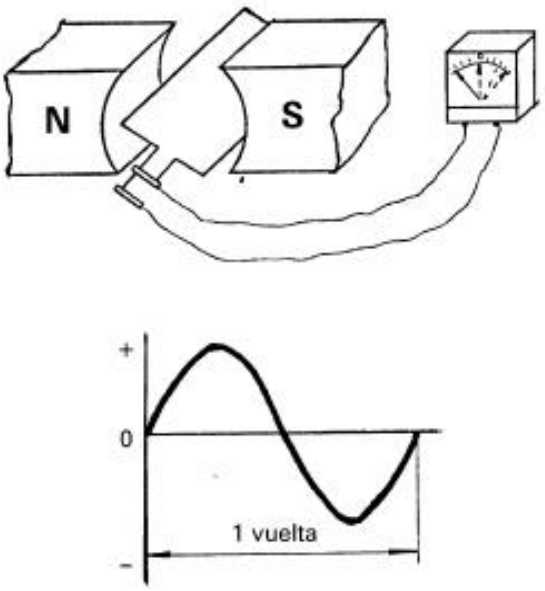


Figura 9.3. Una espira girando en un campo magnético.

Pero teniendo en cuenta que la producción y transporte de la energía, es más rentable si se hace con sistemas trifásicos, luego se hace necesario generar corriente alterna trifásica. Para ello se montan tres bobinas, desfasadas 120 ° eléctricos, entre sí, y se les hace girar dentro de un campo magnético, con lo que se crea una f.e.m., alterna, en cada una de ellas, desfasada 120 °, como se observa en el gráfico de corrientes de la figura 9.4.

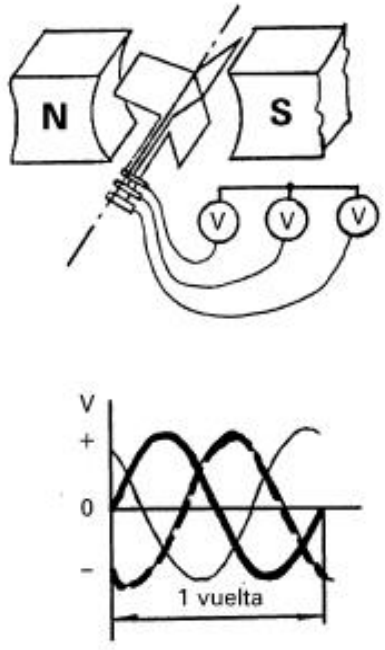


Figura 9.4. Tres espiras desfasadas 120º eléctricos.

9.3.1. Velocidad síncrona y frecuencia de un alternador

La velocidad de giro en un alternador, es impuesta por dos factores, como son:

Número de polos de la máquina.

Frecuencia que se desea obtener.

La velocidad se calcula por la relación:

$$n = \frac{f \cdot 60}{p}$$

Donde: "f" es la frecuencia en Hz, "p" es el número de pares de polos de la máquina, "60" es constante, "n" es la velocidad en r.p.m.

Hemos de tener en cuenta que la frecuencia es una característica muy importante en un alternador, y que ésta debe tener un valor determinado (frecuencia industrial en España 50 Hz), que como hemos visto en la relación anterior, depende del número de polos de la máquina, valor que es constante, no se puede cambiar una vez construido el alternador. La velocidad si se puede regular, factor éste, con el que se juega para mantener una frecuencia constante.

$$f = \frac{n \cdot p}{60}$$

9.3.2. Potencia generada por un alternador

Teniendo en cuenta el principio de funcionamiento de los alternadores, la f.e.m. generada en cada fase del bobinado inducido es:

$$E = \frac{4{,}44 \cdot Ns \cdot f \cdot \Phi \cdot Ka \cdot Kd}{10^8}$$

E- f.e.m. en voltios.

4'44- constante para dar el resultado en valor eficaz.

Ns- número de espiras en serie.

f- frecuencia en Hz.

Φ- flujo por polo en maxwells.

Ka- coeficiente de acortamiento debido a que las bobinas tienen un paso inferior al paso polar.

Kd- coeficiente de distribución, debido a que no se alcanza el rendimiento óptimo de cada bobina.

Este valor de la f.e.m., corresponde al funcionamiento en vacío de la máquina, puesto que al funcionar en carga aparecen caídas de tensión, debidas a resistencias óhmicas internas y perdidas por reacción del inducido.

En los alternadores trifásicos, existen tres devanados abiertos, los principios de éstos se marcan con las letras U,V,W a las que le corresponden los finales X,Y,Z respectivamente.

Los devanados de un alternador trifásico pueden conectarse en estrella o triángulo, figura 9.5.

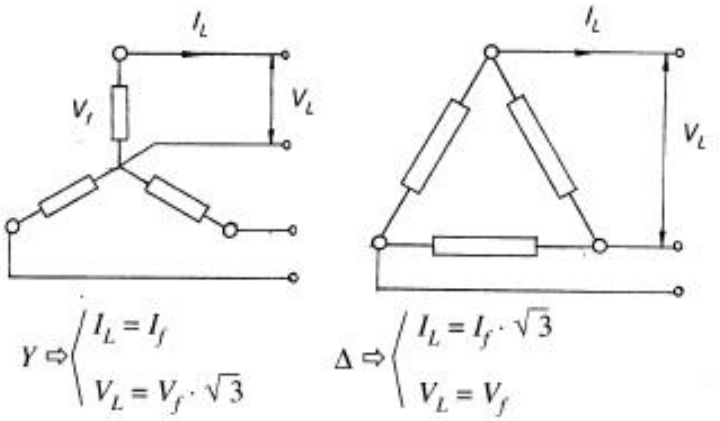


Figura 9.5. Representación gráfica de las conexiones en los devanados de un alternador.

La potencia suministrada por un alternador trifásico será:

$$P_\Delta = 3 \cdot V_f \cdot I_f = 3 \cdot V_L \cdot \frac{I_L}{\sqrt{3}} = V_L \cdot I_L \cdot \sqrt{3}$$

$$P_y = 3 \cdot V_f \cdot I_f = 3 \cdot I_L \cdot \frac{V_L}{\sqrt{3}} = V_L \cdot I_L \cdot \sqrt{3}$$

Como puede observarse la potencia de triángulo se calcula de la misma forma que la de estrella, por tanto siempre que la carga sea óhmica pura, la fórmula a aplicar será:

$$P = U \cdot I \cdot \sqrt{3}$$

Pero en la práctica esto no suele ocurrir, y es necesario multiplicar esta expresión por el coseno del ángulo de desfase formado entre la tensión y la intensidad, con lo que la expresión queda:

$$P = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi$$

9.4. Alternadores de excitación independiente y autoexcitados

Un alternador es de excitación independiente, cuando la corriente continua necesaria para excitar sus polos, proviene de los bornes de una fuente distinta, del propio alternador, como puede ser: dinamo acoplada al eje del propio alternador (excitatriz), acumulador, corriente alterna rectificada, etc.

El esquema de conexiones en este caso será el representado en la figura 9.6.

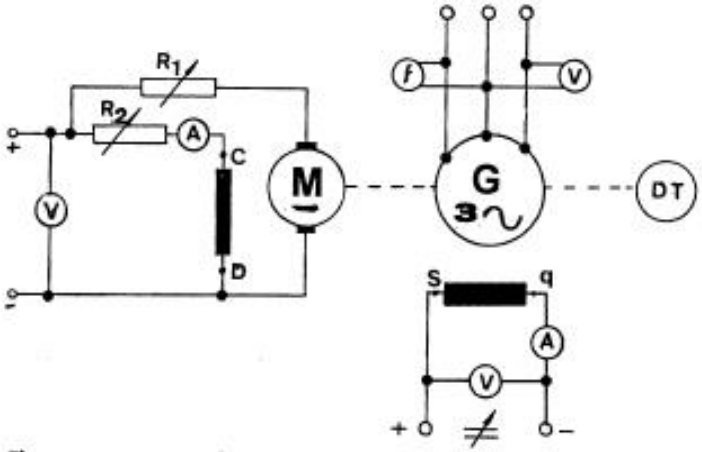


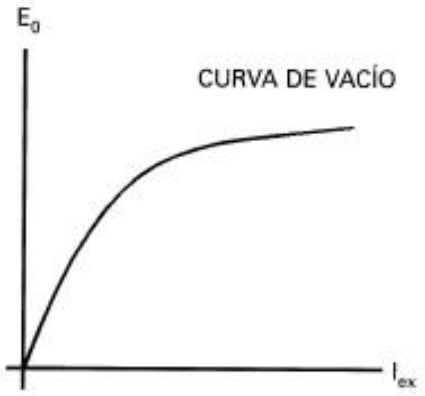
Figura 9.6. Esquema de conexiones para un alternador de excitación independiente.

Los alternadores autoexcitados toman la corriente de excitación de sus propios bornes. Teniendo en cuenta que la corriente generada, es alterna, bastará con hacerla pasar a través de un puente rectificador, elemento totalmente estático.

Este tipo de alternadores es empleado en generadores de pequeña potencia, como; grupos electrógenos, grupos de socorro, grupos de emergencia, etc., que suelen estar sometidos a servicios duros y variables. Es un tipo de máquina adecuado para respuestas rápidas, estables, autónomas, etc. Necesitan un mantenimiento mínimo.

9.5. Ensayo de vacío a un alternador

Por característica de vacío de un alternador se entiende, la curva que representa la f.e.m., en función de la corriente de excitación, girando el alternador a velocidad constante.



La E_0 en vacío aumenta al crecer la intensidad de excitación, ya que el flujo creado por el inductor es proporcional a la I_{ex}.

Para la realización del ensayo, se harán las conexiones del esquema representado en la figura 9.7, en la que se representan las conexiones de un alternador autoexcitado.

9.5.1. Puesta en marcha del alternador

Se seguirá el siguiente orden:

1- Una vez montado el circuito de la figura 9.7, se pone el reóstato "R_1" en el valor más bajo posible.

2- Poner en marcha la máquina motriz (en este caso motor de c.c.) y regular la velocidad hasta obtener la frecuencia deseada.

3- Regular la intensidad de excitación, hasta conseguir la tensión en bornes adecuada, con el reóstato "R_1".

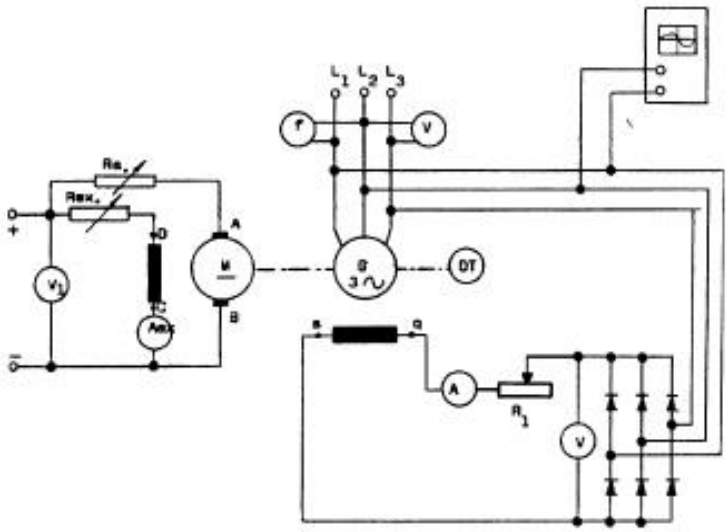


Figura 9.7. Conexiones para ensayo de vacío de un alternador autoexcitado.

9.5.2. Realización del ensayo en vacío

Se tomarán los siguientes datos y medidas:

1- Tomar nota de los datos de la placa de características de la máquina.

2- Medir la resistencia óhmica del bobinado inductor.

3- Calcular la intensidad máxima I_{ex} que absorberá el circuito inductor cuando se le aplique la tensión nominal.

4- Elegir el reóstato adecuado a la intensidad de excitación.

5- Elegir el puente rectificador adecuado a la intensidad máxima de excitación.

6- Al montar el circuito, poner los aparatos de medidas e interruptores adecuados al tamaño de la máquina.

7- Dar la velocidad nominal, procurando el cebado del alternador, una vez alcanzado, conseguir en sus bornes, valores de tensión suficientes para construir la curva de vacío. Estos valores dependerán de la tensión nominal que deba generar y de la conexión de su placa de bornes, (estrella o triángulo).

8- Tomar nota de los valores obtenidos en la tabla de la figura 9.8, procurando mantener la velocidad nominal constante. La intensidad de excitación, se aplicará dando valores crecientes continuos.

E_0	r.p.m.	I_{ex}

Figura 9.8. Tabla para valores obtenidos en vacío.

Si se desea obtener el ciclo de histéresis, bastará, una vez sea alcanzada la saturación magnética, con ir bajando el valor de la intensidad de excitación, también de forma continua, obteniéndose en este caso valores más altos a causa de la histéresis del circuito magnético.

9- Regulando la velocidad de la máquina motriz, conseguir valores de 47, 48, 50, 52 Hz. Tomar nota de las velocidades a las que se han obtenido, en la tabla de la figura 9.9.

FRECUENCIA	VELOCIDAD
47 Hz	
48 Hz	
50 Hz	
52 Hz	

Figura 9.9. Tabla de frecuencias.

10- Representar en los siguientes ejes coordenados, la curva de vacío.

Figura 9.10. Gráfico de valores obtenidos en el ensayo de vacío

11- Relacionar todos los aparatos empleados indicando sus características técnicas.

12- Si se conecta el osciloscopio, dibujar la señal obtenida en la memoria.

9.5.3. Material recomendado para el ensayo de vacío

La siguiente relación de material tendrá sus características adecuadas a la potencia de la máquina a ensayar. El material necesario será:

1- Alternador trifásico.
1- Motor de arrastre de c.c., con los accesorios correspondientes.
1- Fuente de c.c. regulable, para alimentar el motor de arrastre.
1- Puente rectificador y reóstato adecuado.
1- Fasímetro.
1- Tacómetro de 0-3000 r.p.m.
1- Frecuencímetro de 45 a 55 Hz.
2- Voltímetros para la tensión de línea, generada por el alternador, en conexión estrella o triangulo.
1- Amperímetro para medir la corriente de excitación.

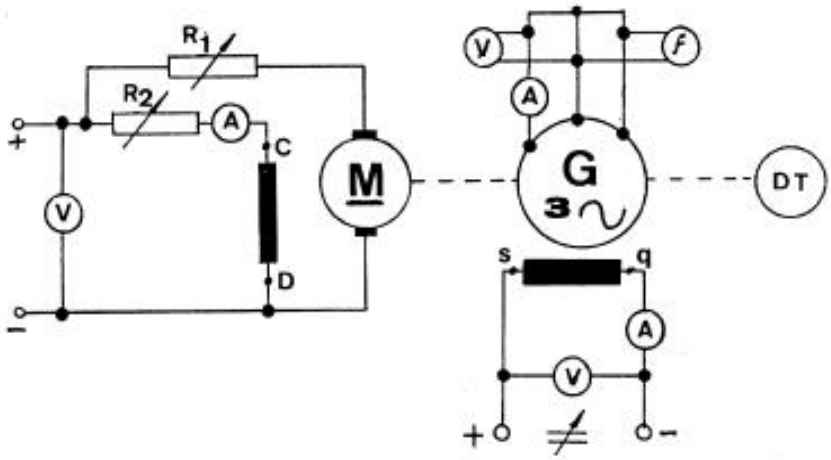
9.6. Ensayo de cortocircuito del generador síncrono

Con este ensayo se pueden obtener las siguientes características:

Intensidad de cortocircuito.
Impedancia síncrona.
Reactancia síncrona.

Para realizar este ensayo, es necesario, dar los siguientes pasos:

1- Poniendo en cortocircuito, las bornas del generador, como muestra la figura 9.11 y poniendo la corriente de excitación en valor mínimo.



Fiura 9.11. Conexiones para el ensayo de cortocircuito.

2- Haremos funcionar el alternador con excitación independiente.

3- Una vez arrancada la máquina motriz, se regula la velocidad hasta alcanzar el valor de frecuencia nominal.

4- Suministramos corriente de excitación, partiendo de cero, y subiendo su valor lentamente y sin retrocesos, valor que observaremos en un amperímetro.

5- Los valores de corriente de cortocircuito "**Icc**", no deben sobrepasar 1,5 veces la corriente nominal.

6- Tomar nota de los valores de "Iex" y de "Icc", en la tabla de la figura 9.12.

I_{ex}	I_{cc}	E_0	$Z_S = E_0 / I_{cc}$	$X_S = \sqrt{Z_S^2 - R^2}$

Figura 9.12. Tabla de valores obtenidos en el ensayo.

7- Con la máquina funcionando en vacío y poniendo los mismos valores de intensidad de excitación, que en cortocircuito, obtener los valores de "E_0". Tomar nota estos valores en la tabla de la figura 9.12, en la que previamente se habían anotado los valores del ensayo de cortocircuito.

8- Dibujar las curvas que representan las magnitudes de la tabla de la figura 9.12, en función de "Iex".

Figura 9.13. Gráficas de cortocircuito

9.6.1. Impedancia síncrona

Es la dificultad que presenta el circuito al paso de la corriente alterna, para determinados valores de ésta. Y se calcula relacionando la f.e.m. de vacío y la corriente de cortocircuito, para el mismo valor de intensidad de excitación. Su valor por fase, es:

$$Z_{sf} = \frac{E_{0f}}{I_{ccf}}$$

Partiendo de las curvas ya determinadas, f.e.m. de vacío e intensidad de cortocircuito, para un valor determinado de intensidad de excitación, se puede determinar la variación de la impedancia síncrona por fase, del alternador.

Después de realizar el ensayo de cortocircuito y con la máquina en caliente, se puede medir la resistencia óhmica de los devanados, por fase, R_f.

Para calcular el valor de la reactancia síncrona, X_{sf} sólo es necesario, aplicar la fórmula:

$$Z_{sf}^2 = R_f^2 + X_f^2 \; ; \; X_{sf} = \sqrt{Z_{sf}^2 + R_f^2}$$

Los valores de estos cálculos pueden anotarse directamente en la tabla de la figura 9.12.

9.6.2. Material recomendado para el ensayo de cortocircuito

La siguiente relación de material tendrá sus características adecuadas a la potencia de las máquinas a ensayar. El material necesario será:

1- Alternador trifásico.
1- Motor de arrastre de c.c., con los accesorios correspondientes.
1- Fuente de c.c. regulable, para alimentar la excitación del alternador y el motor de arrastre.
1- Fasímetro.
1- Tacómetro de 0-3000 r.p.m.
1- Frecuencímetro de 45 a 55 Hz.
2- Voltímetros para la tensión de línea, generada por el alternador, en conexión estrella o triángulo.
2- Amperímetros, uno para medir corriente de cortocircuito y otro de alcance mínimo, para medir la corriente de excitación.

9.7. El generador síncrono en carga

Realizar este ensayo no es preceptivo en este tipo de máquinas, aunque se pueden realizar, si las máquinas son de pequeña potencia. Para ello, se les somete a una carga similar a la nominal, pudiendose hacer de tres formas:

A tensión en bornes constante.
Con excitación constante.
Con intensidad de carga constante.

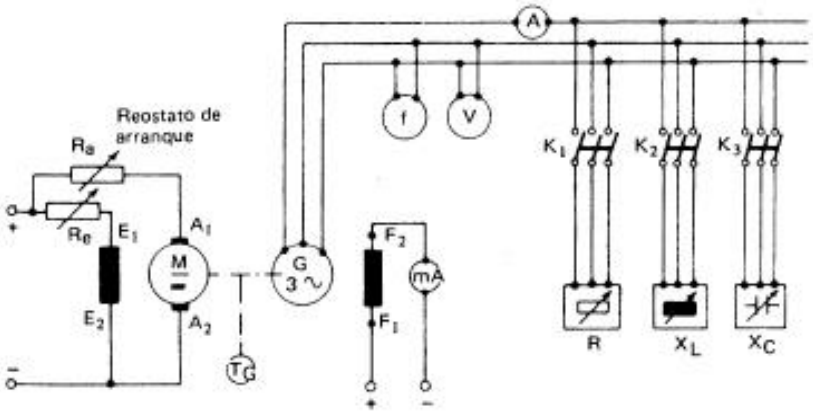


Figura 9.14. Circuito para ensayo de carga.

Tensión constante.-En este caso, se procura mantener constante la tensión, velocidad y el factor de potencia.

La curva en este caso, se traza con los valores obtenidos de la corriente del circuito exterior, en función de Iex.

Excitación constante.-Se mantienen constante todas las magnitudes, excepto la tensión en bornes, que varía en función de la corriente de carga.

Intensidad de carga constante.-Si mantenemos la intensidad de carga, frecuencia y el factor de potencia, constantes. La tensión en bornas del alternador, sólo depende de la corriente de excitación.

Para hacer el ensayo, hemos de montar el circuito representado en la figura 9.14, y a continuación, daremos los siguientes pasos, para cada una de las formas explicadas.

9.7.1. Ensayo a tensión constante

Se darán los siguientes pasos:

1- Arrancando la máquina motriz, se lleva a la velocidad nominal.

2- Se cierra el interruptor que alimenta a la excitación del alternador, y partiendo de cero, se regula la **Iex,** hasta obtener la tensión nominal en bornes.

3- Manteniendo constante la velocidad y tensión en bornes, se toman varios valores de **I** e **Iex,** para distintos valores de carga.

4- El proceso se repetirá con cargas, resistivas, inductivas y capacitivas, puras o combinadas.

5- Los datos se recogerán en la tabla de la figura 9.15.

DISTINTOS VALORES DE CARGA	1	2	3	4	5
U constante					
I_{ex}					
I					
r.p.m.					

Figura 9.15. Tabla para ensayo de carga a tensión constante.

Estos valores se tomarán para factores de potencia determinados, por ejemplo 0,8. Se harán tantas tablas como valores de cos φ, se deseen representar.

6- La representación de las curvas correspondientes a diferentes factores de potencia se harán, de forma semejante a la representada en la figura 9.16.

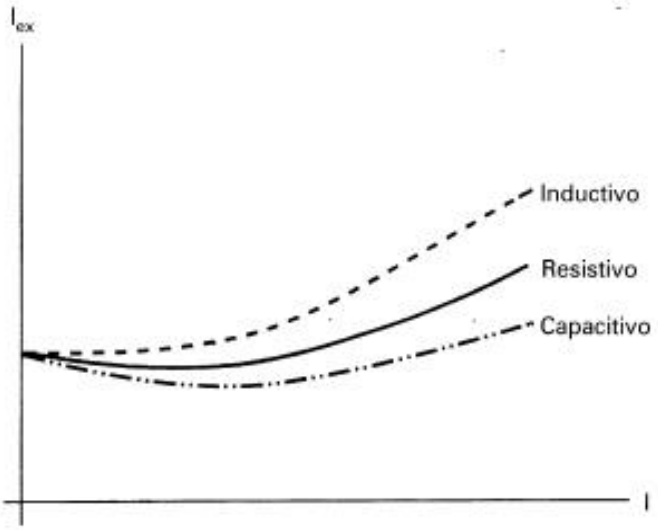


Figura 9.16. Curvas que representan diferentes factores de potencia.

7- Representar las curvas correspondientes a los datos tomados en el ensayo, se hará en la gráfica de la figura 9.17.

Figura 9.17. Representación de datos obtenidos.

9.7.2. Ensayo a excitación constante

Con este ensayo, se obtienen los datos para el trazado de la curva de tensión en bornes, en función de la corriente de

carga. Los pasos a seguir, son los mismos que en el apartado 9.9.1. Es importante tener en cuenta además los siguientes pasos:

1- Con la máquina en vacío, se regula la Iex, hasta obtener la tensión en bornes nominal del alternador, y se mantiene la intensidad de excitación necesaria para ello.

2- Conectar la carga, y dando diferentes valores a ésta, se toman los valores de intensidad de carga y tensión en bornes.

3- Todos estos datos se anotan en la tabla de la figura 9.18, repitiéndose el proceso para distintas combinaciones de cargas, y que pueden ser los mismos valores que en el ensayo anterior.

DISTINTOS VALORES DE CARGA	1	2	3	4	5
U					
I_{ex} constante					
I					
r.p.m.					

Figura 9.18. Tabla para ensayo de carga a excitación constante.

Figura 9.19. Curva de tensión en bornes para Iex, constante.

4- Con los datos obtenidos se trazan las curvas correspondientes a la tensión en bornes, en función de la intensidad de carga. La curva se trazará sobre los ejes de la figura 9.19.

9.7.3. Ensayo con intensidad de carga constante

Con este ensayo se consigue la curva de tensión en bornes del alternador en función de la Iex, manteniendo constante, la frecuencia, la intensidad de carga y factor de potencia.

Los puntos a tener en cuenta en el desarrollo del ensayo son:

1- Se realiza la puesta en marcha del circuito de la figura 9.14, como hemos hecho en otros casos.

2- Dejando conectada sólo la carga inductiva, se hace funcionar el alternador para un valor determinado de corriente de carga. Aumentamos progresivamente la intensidad de excitación y como consecuencia la tensión en bornes.

3- Regulando la carga, se controla a valor constante la intensidad de carga I_0.

4- Se toma nota de los distintos valores de U e Iex, para I constante en la talla de la figura 9.20.

DISTINTOS VALORES DE CARGA	1	2	3	4	5
U					
I_{ex}					
I constante					
r.p.m.					

Figura 9.20. Tabla para valores, del ensayo en carga a intensidad constante.

5- Trazar la curva con los valores obtenidos, en los ejes de U e Iex, de la figura 9.21.

9.7.4. Material recomendado para ensayos de carga

Este material, tendrá las características adecuadas, en función de las máquinas que se vayan a ensayar. La relación de aparatos será:

- Dos amperímetros, una para circuito de carga y otro de bajo alcance, para el circuito de excitación.
- Dos voltímetros para tensión nominal de las máquinas.
- Un frecuencímetro de 45 a 55 Hz.

Figura 9.21. Representación de datos obtenidos.

- Un tacómetro de 0-3000 r.p.m.
- Un fasímetro adecuado a las características de las máquinas.
- Tres cargas trifásicas regulables, inductivas, resistivas y capacitivas.
- Un alternador trifásico.

- Un motor para el arrastre de corriente continua con sus accesorios de potencia, igual o superior a la del alternador.
- Una fuente de corriente continua regulable para alimentar la excitación del alternador y el motor de arrastre.

9.8. Motores síncronos

El motor síncrono es un alternador funcionando en régimen inverso, es decir, aplicándole c.a. trifásica al bobinado estatórico y excitando con c.c., el bobinado rotórico, ello dará lugar a un par de fuerzas, de forma que la máquina girará a una velocidad constante determinada por la expresión de la velocidad de sincronismo.

$$n = \frac{f \cdot 60}{p}$$

Su empleo está limitado por la dificultad de su arranque, ya que no lo hace por sí solo, a no ser que esté provisto de rotor en jaula de ardilla, con lo que lo haría como asíncrono.

La ventaja de su empleo, radica en la posibilidad de absorber corrientes inductivas y capacitivas de red.

Para que funcione como condensador síncrono, se hace funcionar en vacío y sobrexcitado. Cuando la excitación está por debajo de su valor nominal, absorbe corriente inductiva.

9.8.1. Arranque del motor síncrono

Se puede efectuar el arranque, como si se tratase de un motor asíncrono con rotor en cortocircuito, puesto que pueden ir provistos de un circuito en jaula de ardilla. El arranque en este caso, se realiza de la siguiente forma:

1- Circuito de excitación cerrado a través de una resistencia de descarga.

2- Conexión del circuito trifásico a una fuente de corriente alterna trifásica de tensión regulable, con la que poder limitar la intensidad en el arranque. Ello da lugar a un campo magnético giratorio, con velocidad igual a la de sincronismo.

3- La influencia mutua entre las corrientes del bobinado estatórico y las inducidas en el rotórico, dan como resultado, la puesta en marcha del motor.

4- Cuando se alcanza una velocidad muy próxima a la de sincronismo, se procede a la desconexión de la resistencia conectada en el circuito de excitación y se le suministra c.c. En este momento, el motor alcanza la velocidad de sincronismo y comienza su funcionamiento como síncrono.

Otra forma de arranque es la que se efectúa con la ayuda de un motor de c.c. para ello haremos las conexiones y acoplamiento representados en la figura 9.22, realizando a continuación el mismo proceso, que se sigue, para acoplar a red un alternador.

El proceso de arranque será:

1- Una vez realizado el montaje y conexionado del esquema de la figura 9.22.Se pone en funcionamiento la maquina motriz (motor de c.c.), regulando su velocidad para alcanzar la nominal de la máquina síncrona. Se alimenta el circuito de excitación del alternador regulando la tensión generada, que es controlada por el voltímetro conectado a sus bornes y debe ser igual al valor marcado por el voltímetro de línea.

2- Se regula la velocidad de la máquina, para conseguir igualdad entre la frecuencia generada y la que presenta la red, lo que indican los frecuencímetros respectivos. En este punto también es necesario, corregir y controlar la f.e.m. generada, regulando la intensidad de excitación.

3- Es necesario que además de que las tensiones y frecuencias del alternador y red sean iguales, que estén en fase, para poder realizar el acoplamiento. Para determinar en qué momento ha de hacerse la conexión o acoplamiento a red, podemos valernos de un sincronoscopio, en este caso formado por tres lámparas conectadas entre las fases de red y las del alternador, como muestra el esquema de la figura 9.22. Las lámparas permanecen encendidas si hay diferencia entre las frecuencias de red y la del alternador, regulando los parámetros del alternador, se aproximarán éstas y las lámparas oscilarán cada vez más lentamente, el acoplamiento se realizará en el momento que las lámparas se apagan.

La velocidad del alternador una vez realizada la conexión, se subordina a las características de la red.

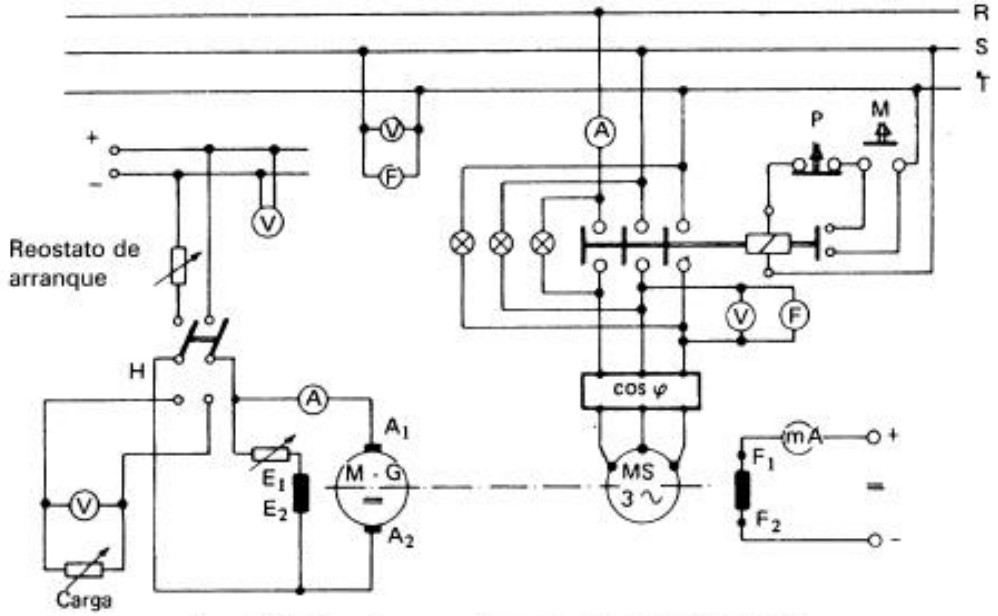


Figura 9.22. Conexiones para el arranque de motores síncronos

4- Sucesión de fases, (que concuerda R línea con R del alternador y así las demás) es una condición que viene implícita en las anteriores, ya que si la sucesión de fases no fuese correcta, siempre quedaría una lámpara encendida en el sincronoscopio. No se deberá hacer el acoplamiento hasta que no se apaguen las tres lámparas simultáneamente. Si no se consigue el apagado de las tres lámparas, bastará intercambiar dos de las conexiones del alternador respecto a la línea.

5- Ya tenemos el alternador acoplado a red, desconectamos de corriente el motor de c.c. y el alternador pasa a funcionar como motor síncrono.

6- La parada del motor síncrono, se realizará eliminando la carga progresivamente, en primer lugar, para después, reducir excitación y desconectarlo de red.

9.8.2. Curvas en V de motor síncrono

Las curvas en "V", tienen gran importancia en este tipo de motores, relacionando la corriente de excitación y la corriente absorbida por el motor síncrono a potencia constante.

Su representación se muestra en la figura 9.23, en la que podemos observar curvas para distintas potencias del motor.

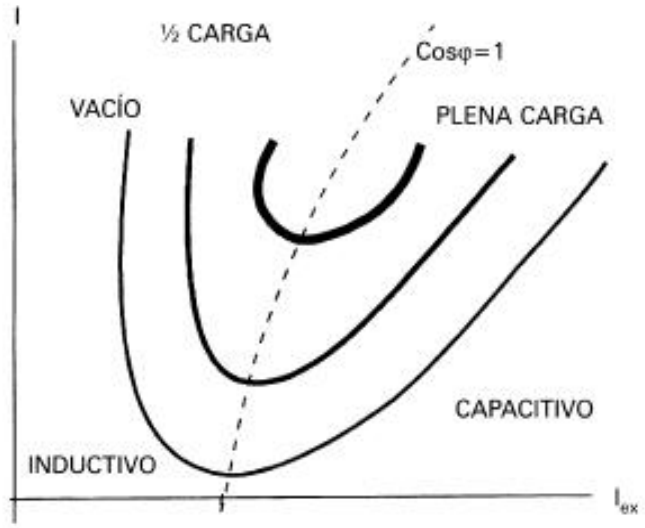


Figura 9.23. Curvas en V de un motor síncrono.

Observando las curvas obtenidas en los ensayos, podemos sacar las siguientes conclusiones:

1- A menor corriente absorbida, más se acerca la curva al eje de ordenadas, por tanto esta corriente es más inductiva.

2- Cuando es menor la potencia desarrollada, también lo es la Iex. Hay menor reacción del inducido.

3- En la curva de funcionamiento en vacío, se observa un mayor margen de variación de la Iex. Característica importante, para su empleo en las instalaciones industriales, como reguladores del factor de potencia.

4- Los puntos de inflexión de las curvas, corresponden al funcionamiento ideal, cos $\varphi = 1$.

5- Si se eleva la corriente de excitación, el motor cede potencia reactiva a la red.

9.8.3. Ensayo del motor síncrono

Una vez hemos seguido los pasos indicados en el apartado 9.10.1, tenemos el motor síncrono funcionando en vacío, manteniendo como única carga, el arrastre de la dinamo acoplada a su eje.

Para obtener las diferentes curvas, actuaremos en el siguiente orden:

En vacío.-Variando la corriente de excitación "Iex", del motor y partiendo de intensidad absorbida nominal "I". Se baja paulatinamente la "Iex", obteniéndose varios puntos, a la vez que se toman los valores de "I"; a continuación se hará subiendo poco a poco "Iex", haciéndolo en varios puntos igualmente y de forma que el motor trabaje sobreexcitado. Tomar nota de los resultados en la tabla de la figura 9.24.

Si disponemos de un osciloscopio, podremos observar que la intensidad absorbida está retrasada respecto a la tensión del motor, con la corriente de excitación baja (subexcitado) y adelantada si la corriente de excitación es alta (sobrexcitación). Actuando el motor como receptor de energía reactiva en el primer caso, y como generador de reactiva en el caso de sobrexcitación.

	VACÍO		½ CARGA		P. CARGA	
BAJANDO	I_{EX}	I	I_{EX}	I	I_{EX}	I
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	VACÍO		½ CARGA		P. CARGA	
SUBIENDO	I_{EX}	I	I_{EX}	I	I_{EX}	I
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					

Figura 9.24. Tabla para datos de ensayos al motor síncrono.

En carga.- Alimentando el circuito de excitación de la dinamo, que el motor tiene acoplado a su eje y a su vez haciendo que la dinamo alimente una carga, resistiva regulable, podemos conseguir distintos valores de carga para el motor síncrono. En estas condiciones, fijaremos un valor de carga y actuaremos, como en el caso de vacío, repitiendo el proceso para cada valor de carga.

9.8.4. Material recomendado para el ensayo

Las características de los aparatos a emplear, estarán en función de las máquinas a ensayar.

La relación de aparatos será:

Tres lámparas y sus portalámparas.

Dos voltímetros.

Un osciloscopio de doble trazo.

Dos frecuencímetros.

Tres amperímetros.

Un tacómetro.

Un motor síncrono o alternador trifásico.

Un motor de corriente continua con todos sus accesorios, para una doble función; motor y generador.

Accesorios necesarios para las maniobras en el alternador; contador, interruptor, etc.

Fuente de alimentación con c.c y c.a trifásica.

9.9. El motor asíncrono

Como en cualquier máquina, en los motores de corriente alterna, parte de la energía eléctrica que absorben se transforma en calor, que al no poderse aprovechar, se consideran pérdidas.

Hay tres tipos fundamentales de pérdidas:

Pérdidas en el cobre.
Pérdidas en el hierro.
Pérdidas mecánicas.

Para determinar estas pérdidas y las características de carga de los motores, realizaremos ensayos de vacío y carga.

9.9.1. Ensayo de vacío al motor asíncrono

En este ensayo se determinan las pérdidas mecánicas en el hierro fundamentalmente y además podemos calcular otras características tales como:

a) El coseno de "phi" en vacío.-O factor de potencia, cuando el motor no arrastra ninguna carga:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U \cdot I \cdot \sqrt{3}}$$

b) Deslizamiento en vacío.- Conocido el nº de polos de la máquina y la frecuencia de la red de alimentación, se puede calcular su velocidad de sincronismo;

$$n = \frac{f \cdot 60}{p}$$

Siendo en la práctica alguna de las siguientes: 375, 500, 1.000, 1.500 o 3.000 r.p.m. para frecuencia de 50 Hz.

Si medimos la velocidad a que gira una máquina, con un tacómetro, veremos que ésta es menor que la velocidad de sincronismo, es debido al deslizamiento, que como sabemos es:

$$S_0 = \frac{n_s - n}{n_s}$$

En tanto por uno y $S_0 = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100$ En tanto por %.

c)Pérdidas.-Dado que en este ensayo no se obtiene ninguna potencia útil en el eje de la máquina, se puede decir que las lecturas de los voltímetros reflejan la potencia total perdida en la máquina, que será igual a:

$$P_0 = P_h + P_{cu} + P_r$$

P_h -Pérdidas en el hierro.
P_{cu} -Pérdidas en el cobre.
P_r -Pérdidas mecánicas.

Las pérdidas en el cobre(P_{cu}) por efecto Joule, se pueden determinar midiendo la resistencia eléctrica de las bobinas del estator y aplicando la fórmula.

$$P_{cu} = 3 \times R \times I_0^2$$

Las medidas de resistencia pueden hacerse con un polímetro adecuado, o bien, por el sistema voltiamperimétrico, alimentando con c.c regulable dos de las fases del motor, (conectado éste en estrella), y tomando varias medidas para tomar el valor medio de los resultados. Teniendo en cuenta que al alimentar dos fases del motor conectado en estrella, en realidad tenemos dos devanado en serie, y por tanto el resultado hay que dividirlo por dos.

Conocidas estas pérdidas, se pueden deducir las debidas a rozamiento o mecánicas y en el hierro.

$$P_h + P_r = P_0 - P_{cu}$$

La curva que representa estas pérdidas se refleja en la figura 9.25.

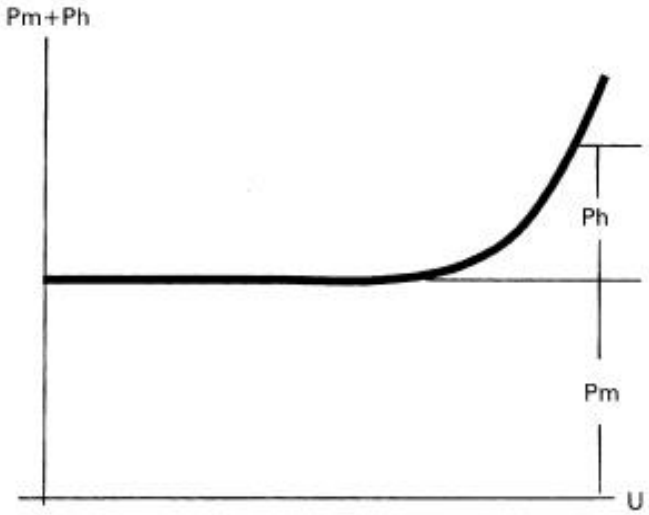


Figura 9.25. Curvas de vacío

Para realizar el ensayo haremos las conexiones que se reflejan en el siguiente esquema:

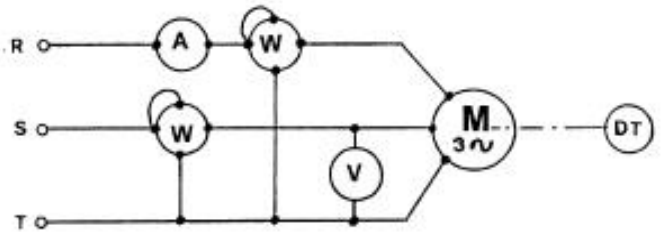


Figura 9.26. Conexiones a realizar para ensayo de vacío.

Las medidas han de tomarse a tensión nominal, sin embargo conviene aplicar tensión regulable, empezando por la nominal del motor e ir reduciéndola hasta notar que el motor reduce visiblemente su número de r.p.m. La conexión del motor dependerá de la tensión de red, pudiendo ésta ser; estrella o triángulo.

Nota: Si el motor está conectado en triángulo, por la línea circula una corriente $\mathbf{I_0}$, pero por fase o devanado, será: $\mathbf{I_0/\sqrt{3}=I_0'}$

Los resultados así obtenidos, se llevarán a la tabla de la figura 9.27.

U	I_0	I_0'	W_1	W_2	P_0	P_{cu}	P_h+P_r	R	S_0	$\cos\varphi_0$	n

Figura 9.27. Tabla para datos del ensayo de vacío.

Con los datos reflejados en la tabla, una vez realizado el ensayo de vacío, se procederá al trazado de la curva correspondiente, sobre los ejes coordenados de la figura 9.28.

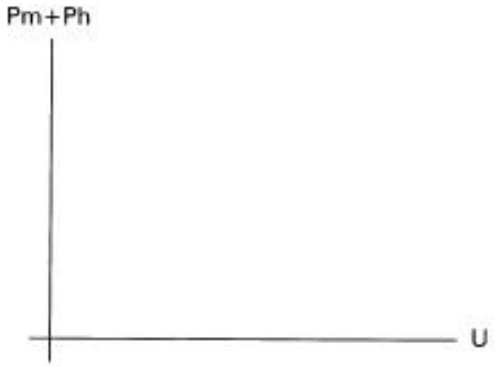


Figura 9.28. Gráfica de pérdidas en el hierro y mecánicas.

9.9.2. Ensayo en carga del motor asíncrono

Con este ensayo se determinan las siguientes características del motor asíncrono trifásico:

- Rendimiento parcial del estator.
- Rendimiento parcial del rotor.
- Rendimiento total.
- Factor de potencia para distintas cargas.
- Frecuencia rotórica. $f_2 = 3 \cdot f$

Las gráficas que representan estos valores suelen tener formas similares a las representadas en la figura 9.29, correspondientes a ensayos de carga a un motor determinado.

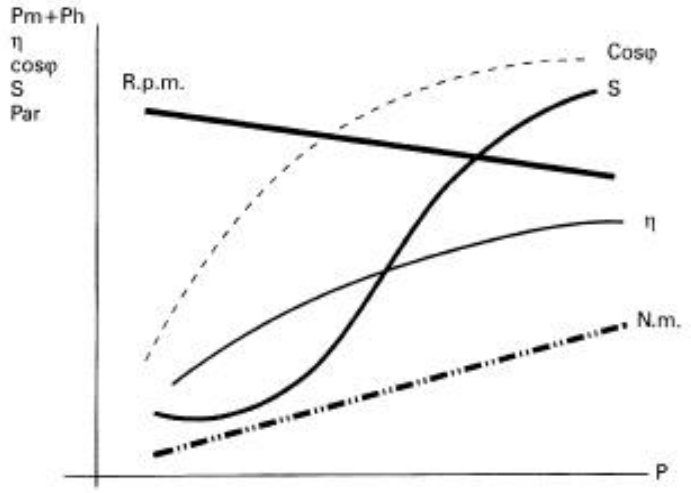


Figura 9.29. Curvas del ensayo en carga.

a) Rendimiento parcial del estator.- La potencia perdida en el estator, en el hierro y por rozamiento, se conoce del ensayo en vacío. Las del hierro y rozamiento serán:

$$P_h + P_r = P_0 - 3 \cdot R \cdot I_{of}^2$$

Las cuales se pueden considerar constantes, cualquiera que sea el valor de la carga del motor, siempre que se conserve su velocidad casi constante y la tensión en línea de alimentación.

Para una carga determinada, las pérdidas por efecto Joule en el estator serán: $P_{cu} = 3 \cdot R \cdot I_f^2$; siendo I_f si la conexión es triángulo, $I_f = \dfrac{I}{\sqrt{3}}$

Luego el rendimiento del estator en carga será:

$$\eta_s = \frac{(W_1 \pm W_2) - (P_{cu} + P_h + P_r)}{W_1 \pm W_2}$$

O bien $\eta_s = \dfrac{P - P_0}{P}$

b) Rendimiento del rotor.-Se calcula aplicando la siguiente ecuación:

$$\eta_r = \frac{E_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2 - R_2 \cdot I_2^2}{E_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2} = 1 - S;$$

Siendo S el deslizamiento en tanto por uno: $\eta_r = 1 - S$

c) Rendimiento total o del motor.- El rendimiento del motor para una carga determinada, será igual al producto, de los rendimientos del estator y del rotor para esa carga:

$$\eta = \eta_s \cdot \eta_r$$

d)Factor de potencia para distintas cargas.-Se calcula éste, para cada uno de los distintos valores de carga en base a la siguiente relación:

$$\cos\varphi = \frac{W_1 \pm W_2}{U_1 \cdot I_1 \cdot \sqrt{3}}$$

Las conexiones a realizar para hacer el ensayo en carga, se representan en el esquema de la figura 9.30.

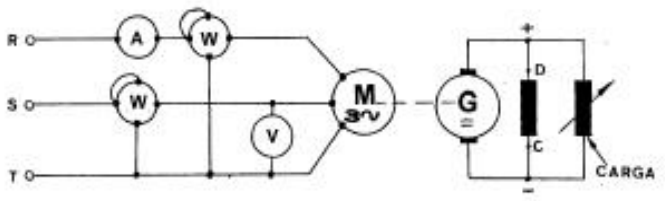


Figura 9.30. Esquema de conexiones para el ensayo en carga del motor asíncrono.

La carga del eje se logra con el acoplamiento de una dinamo, que disipa la energía generada en una resistencia variable.

Los resultados obtenidos se reflejarán en la tabla de la figura 9.31.

U	I	W_1	W_2	$P = W_1 \pm W_2$	P_r	n	S	cosφ	N.m.

Figura 9.31. Tabla para datos obtenidos en el ensayo en carga.

Con los datos obtenidos en la tabla se trazarán las curvas correspondientes, sobre los ejes de la figura 9.32.

Figura 9.32. Curvas del ensayo en carga.

9.9.3. Material recomendado para realizar los ensayos

Como ya hemos comentado en varias ocasiones, éste debe adaptarse en sus características, a los de las máquinas a ensayar. Teniendo en cuenta lo dicho, hemos de contar con:

- Un óhmetros de 0-200 Ω.
- Dos vatímetros de cos φ = 0,33 para vacío y cos = 1 para carga.
- Un amperímetro con varios alcances.
- Un voltímetro de c.a.
- Un motor asíncrono trifásico.
- Una máquina de c.c. con su equipamiento correspondiente.
- Un tacómetro.
- Un fasímetro.
- Un osciloscopio si se desea observar el desfase entre tensión e intensidad.
- Accesorios de arranque y maniobras para las dos máquinas.
- Un termómetro adecuado para el control de temperatura de máquinas.

9.10. Cambios de temperatura en las máquinas

Como ya vimos en el tema 3, las pérdidas de potencia que se producen en una máquina eléctrica se transforman en calor.

El calor que se produce en una máquina da lugar a que se eleve su temperatura, y cuando ésta es mayor que la temperatura ambiente, la cede al exterior, a la vez que se sigue elevando la de la máquina. Cuando todo el calor que se produce en la máquina es cedido al exterior, la temperatura de la máquina se estabiliza, se ha llegado al equilibrio térmico.

En funcionamiento nominal de la máquina, a la temperatura alcanzada cuando llega al equilibrio térmico, se le denomina temperatura de régimen. El exceso de temperatura de régimen perjudica seriamente a las máquinas.

La medida de temperaturas se hace con aparatos adecuados, denominados "termómetros". Existen en el mercado varios modelos, suelen ser digitales y con márgenes de medición comprendidos entre -50 ºC y 1.300 ºC.

9.10.1. Calentamiento de la máquina

Es la diferencia entre la temperatura alcanzada por una de sus partes y la temperatura ambiente.

$$\Delta T = T_{maq.} - T_{amb.}$$

El calentamiento de una máquina es directamente proporcional a la potencia perdida en la máquina y a la superficie de contacto con el aire.

Para medir el calentamiento de una máquina, se deja funcionar a régimen nominal durante un tiempo, hasta alcanzar el equilibrio térmico, (éste se alcanza cuando durante media hora la temperatura aumenta menos de 0,5 ºC) y en este momento se toman las medidas, con termómetros adecuados.

Los calentamientos a medir son dos:

Calentamiento local o de un punto determinado.-Se calcula aplicando la fórmula:

$$\Delta T = T_{maq.} - T_{amb.}$$

Calentamiento medio.-Se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$\Delta T = \frac{R_{cal.} - R_{frio}}{R_{frio}} (235 + T_{amb.})$$

En esta relación intervienen los valores de las resistencias de los bobinados en frío y en caliente, así:

ΔT - Incremento de temperatura (calentamiento medio).

R_{cal} - Resistencia del devanado en caliente.

$R_{frío}$ - Resistencia del devanado en frío.

$T_{amb.}$ - Temperatura ambiente.

Durante el ensayo en carga, del motor asíncrono, se hará un seguimiento de los valores que toma la temperatura, a lo largo del tiempo. Los valores de temperatura obtenidos se anotarán en la tabla de la figura 9.33., haciendo funcionar el motor con carga nominal y partiendo de temperatura ambiente.

t	0	5'	10'	15'	20'	30'	35'
°C							

Figura 9.33. Tabla de temperaturas tomadas a intervalos de 5 y 10 minutos.

Los datos obtenidos pueden representarse en el gráfico de la figura 9.34.

Figura 9.34. Gráfico de temperaturas.

9.11. Informe de los ensayos realizados

Una vez realizado cualquier ensayo, es necesario redactar una memoria en la que quede constancia de:

El material empleado, indicando sus características relevantes.

Los datos obtenidos, reflejando la tabla o tablas correspondientes.

Los cálculos que haya sido necesario hacer.

Representación gráfica de las curvas correspondientes.

Y las conclusiones ha que se a llegado, haciendo todas aquellas observaciones que se estime oportuno.

9.12. Normas de seguridad aplicables

Serán las mismas que se mencionaron en el tema 8, puesto que igualmente estamos trabajando con máquinas eléctricas.

Actividades de taller propuestas

Teniendo en cuenta los ensayos analizados y dado que hacerlos todos puede ser muy largo, sería conveniente hacer al menos dos, que pueden ser los más completos.

Ensayo de un motor asíncrono, y determinación de las curvas correspondientes a funcionamiento en vacío y en carga.

Ensayo de un motor síncrono, arrancándolo con ayuda del motor de c.c. y trazando las curvas en V.

Autoevaluación

1- Dibujar la placa de bornas de un alternador con sus circuitos y letras correspondientes.

2- Describe las tres partes fundamentales de un alternador.

3- ¿Qué significa velocidad de sincronismo y cómo se calcula?

4- ¿Cuál es la fórmula que ha de aplicarse para calcular la potencia generada por un alternador, conectado en triángulo?

5- La corriente empleada en el circuito de excitación del alternador, es ¿ c.a. o c.c.?

6- El sincronoscopio tiene como función...

7- Explica cómo realizar el ensayo de vacío del alternador.

8- ¿Cómo se calcula el rendimiento del estator en los motores asíncronos?

9- El factor de potencia para distintas cargas en el motor asíncrono se calcula por la expresión...

10- Dibuja el esquema de conexiones a realizar para hacer el ensayo en carga del motor asíncrono trifásico.

Bibliografía

- JOSÉ PALACIOS BREGEL. Prácticas de Laboratorio de Máquinas Eléctricas. Editorial Paraninfo, 1986.
- JESÚS RAPP OCARIZ. Teoría y Cálculo de los Bobinados Eléctricos. Editorial Vagma, 1970.
- JESÚS RAPP OCARIZ. Tratado Práctico de Electrotecnia. Editorial Vagma, 1973.
- JOSÉ BURGOS MONFORT. Electricidad Industrial. Editorial Dossat, S.A. 1974.

Mantenimiento de Máquinas Eléctricas

Pretende ser una herramienta de ayuda para alumnos, profesores y profesionales interesados en conocer o ampliar conocimientos de las máquinas eléctricas, desde un punto de vista práctico, con un nivel básico pero riguroso, basado en la experiencia del autor como profesor de estas materias desde octubre de 1978, en institutos de Formación Profesional de enseñanza pública.

El presente libro aborda la constitución de cada tipo de máquina, el principio de funcionamiento, los cálculos necesarios para su bobinado, el proceso de rebobinado, los ensayos correspondientes, así como el mantenimiento preventivo. Se incluyen ejemplos, ejercicios de auto-evaluación y actividades de taller propuestas, todo ello con objeto de que el alumno tome conciencia del progreso de su formación.

La obra está dividida en tres grandes bloques que corresponden a; transformadores, máquinas rotativas de c. c. y máquinas rotativas de c. a.

ISBN 84-283-2526-X

9 788428 325264

ANINFO
International Thomson Publishing